



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

- + *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.
- + *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.
- + *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.
- + *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

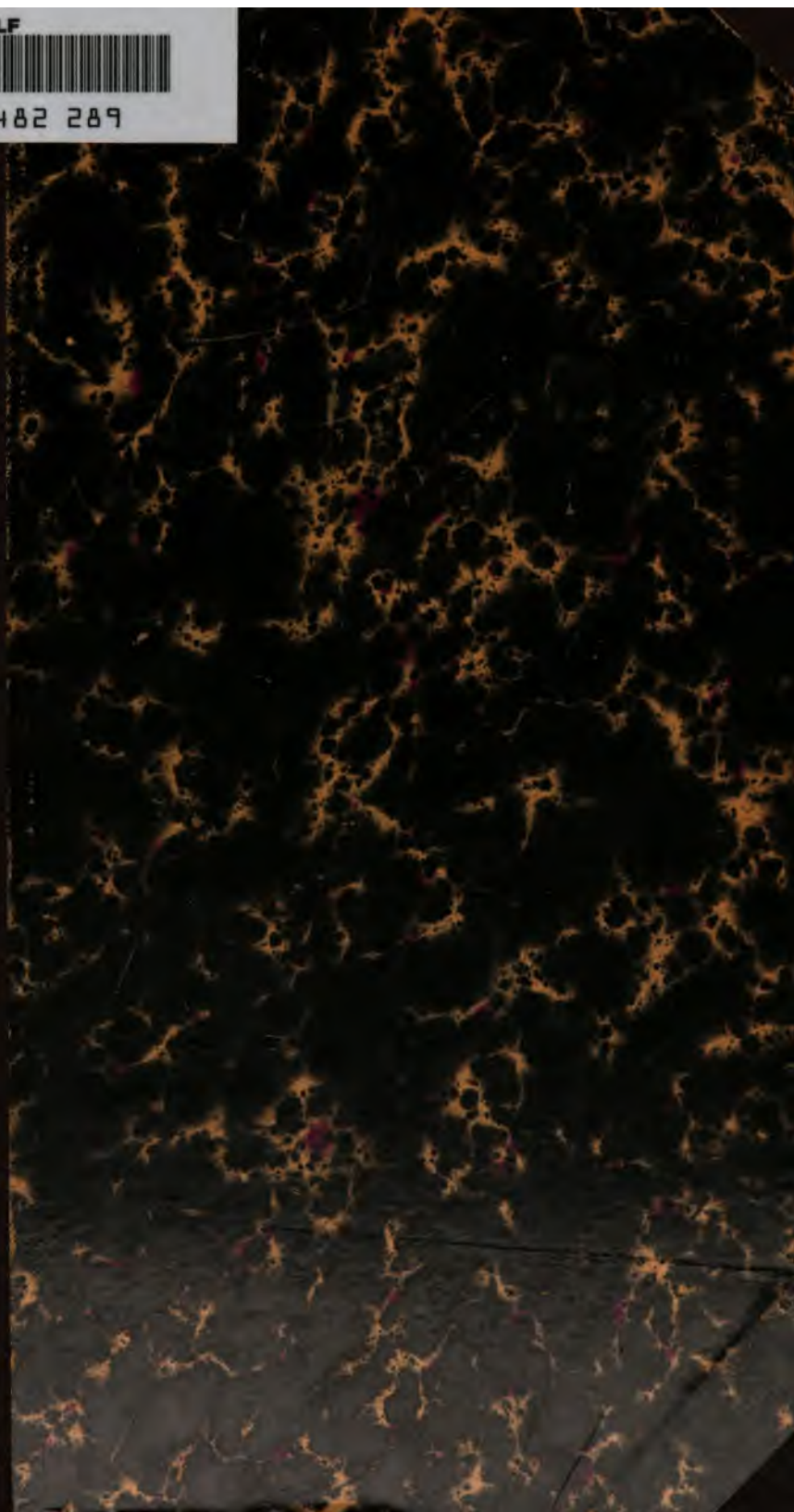
Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter <http://books.google.com> durchsuchen.

UC-NRLF



B 3 482 289





THE LIBRARY
OF
THE UNIVERSITY
OF CALIFORNIA

BIOCHEM.
HERMANN O. L. FISCHER
COLLECTION
PRESENTED BY HIS WIFE

II i 256



Sir Thomas Lawrence, P.R.A. Pinx^t

Henry Adlard Sc

Thomas Young

London: Longmans & Co

D A S L I C H T.

Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der mechanischen Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.

DAS LICHT.

SECHS VORLESUNGEN

VON

JOHN TYNDALL.

AUTORISIRTE DEUTSCHE AUSGABE

BEARBEITET

VON

CLARA WIEDEMANN.

MIT EINEM VORWORT VON G. WIEDEMANN.

MIT EINEM PORTRAIT VON THOMAS YOUNG UND 57 IN DEN
TEXT EINGEDRUCKTEN ABBILDUNGEN.

ZWEITE AUFLAGE.

BRAUNSCHWEIG,
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.

1895.

Alle Rechte vorbehalten.

BIOCHEM.

GIFT

QC 361

T 913

1895

BIOCHEM.
LIBRARY

VORWORT

ZUR

VIERTEN ENGLISCHEN AUSGABE.

In diesen Vorlesungen habe ich einen schwierigen, aber höchst interessanten Gegenstand allgemein verständlich darzustellen versucht. Ich hatte mir die Aufgabe gestellt, nicht nur in anschaulicher Weise die fundamentalen Gesetze und die Erscheinungen des Lichtes zu beschreiben und zu erklären, sondern auch den Ursprung der theoretischen Begriffe zu ermitteln, die Allem zu Grunde liegen und Alles verbinden, und zu zeigen, wie sie angewendet werden, denn ohne sie ist eine wirkliche Erklärung unmöglich.

Ich hielt diese Vorlesungen im Winter 1872 bis 1873 in den Vereinigten Staaten von Nord-Amerika. Noch bewahre ich der Liebens-

VI Vorwort zur vierten englischen Ausgabe.

würdigkeit, mit der sie aufgenommen wurden,
eine lebhafte und dankbare Erinnerung.

Meine Absicht und mein Ziel habe ich
kurz im „Anhang und Schluss“ ausgesprochen,
welche beide folglich auch als Einleitung zu
dem Werke gelesen werden können.

Alp Lusen, October 1885.

John Tyndall.

VORWORT

ZUR

DEUTSCHEN BEARBEITUNG.

Das vorliegende Werk enthält den dritten Cyclus der Vorlesungen, in denen Tyndall nach einander die verschiedenen Theile der Physik in Wort und Schrift einem grösseren Kreise vorgeführt hat. Nach der Wärme und dem Schall behandelt er nunmehr das Licht. Die dabei zu lösende Aufgabe war um so schwieriger, als die Erklärung und die Theorie der verschiedenen Erscheinungen, deren völlige Begründung fast nur auf mathematischem Wege möglich ist, ohne dieses Hülfsmittel allein durch die logische Aufeinanderfolge zweckmässig gewählter Experimente entwickelt und dem allgemeinen Verständniss zugänglich gemacht werden musste. Der glänzende Erfolg der in Nordamerika gehaltenen Vorlesungen selbst, sowie der ihrer Veröffentlichung in Amerika und

in England legt ein Zeugniß dafür ab, wie vortrefflich es Tyndall gelungen ist, diese Schwierigkeiten zu überwinden.

Tyndall hat in diesen Vorträgen, auf deren materielle Erfolge er in edelmüthiger Weise zum Besten junger, in Deutschland studirender Amerikaner verzichtete, den Bürgern der Vereinigten Staaten rückhaltslos dargelegt, dass nicht die unmittelbare Anwendung jeder wissenschaftlichen Leistung auf praktische Ziele die Quelle dauernden Nationalwohlstandes sei, sondern die ernste, auf directen Gewinn verzichtende, selbstlose Beschäftigung mit den Naturwissenschaften.

Ausser der weiteren Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse durch eine, wenn auch durchaus allgemein verständliche und anziehende, so doch im Wesen der Sache streng wissenschaftliche Darstellung bieten die oben genannten Werke indess noch ein ganz besonderes „didactisches“ Interesse dar.

Nicht nur von philologischer Seite, sondern auch von der Mehrzahl der Naturforscher wird bei uns anerkannt, dass unter den bisher obwaltenden Verhältnissen das Studium der classischen Sprachen besonders geeignet ist, dem jugendlichen Geist die Schärfe des Denkens zu verleihen, welche für eine höhere Geistesarbeit

erforderlich ist. Die durch Jahrhunderte erprobte und ausgebildete Methodik des philologischen Unterrichts, die vollendete Durcharbeitung der Grammatik verlangt von dem Schüler Entscheidungen, die nur durch eine scharfe, aber doch innerhalb seiner Befähigung liegende Kritik zu erzielen sind. Dadurch wird es ermöglicht, in der Beschäftigung mit den classischen Sprachen eine vorzügliche geistige Gymnastik zu schaffen. Sie trägt selbst dann noch für die späteren Jahre, und zwar auch bei dem Studium anderer Fächer, ihre Früchte, wenn, wie nicht selten, die richtige Grenze überschritten wird und unter Hineinziehung der jeweiligen neuesten Strömungen der Wissenschaft der Unterricht sich in Einzelheiten verliert; wenn das Mittel zum Zweck wird, und an Stelle einer classischen Bildung durch die philologischen Studien die Ausbildung von Philologen tritt.

Freilich wird hierdurch die Beschäftigung mit denjenigen Wissenschaften zu sehr zurückgedrängt, deren Kenntniss für das Leben selbst unerlässlich ist, deren Resultate die höchsten Fragen der Menschheit berühren, ohne die auch eine erfolgreiche Erkenntniss der Bedingungen des geistigen Lebens ganz unmöglich ist: die Beschäftigung mit den Naturwissenschaften. So werden die Schüler, welche diese Wissenschaften

zu ihrem Lebensberuf wählen wollen, zum grossen Schaden für das naturwissenschaftliche Studium selbst mehr und mehr veranlasst, auf die classische Ausbildung im Gymnasium zu verzichten und an anderen Lehranstalten eine mehr fachliche Unterweisung zu suchen. Auch klagt man nicht mit Unrecht, während man dem Naturforscher von verschiedenen Seiten einen Mangel an Bildung vorwirft, wenn ihm die sogenannte classische Bildung fehlt, oder er auch nur Mängel in derselben zeigt, dass man dagegen grobe Unwissenheit auf dem naturwissenschaftlichen Gebiete an dem classisch Gebildeten kaum rügt.

So berechtigt diese letzteren Erwägungen sind, so ist indess zu bedenken, dass die relativ geringe Verwendung des naturwissenschaftlichen Unterrichts als geistiges Bildungsmittel nicht allein von der Geringschätzung der Bedeutung jener Wissenschaften herrührt. Der Grund liegt vielmehr in der grossen Schwierigkeit, die Ableitung der Naturgesetze aus den einzelnen Erfahrungen, die deductive Entwicklung der Ursachen der letzteren aus jenen Gesetzen in einem streng gegliederten System dem Schüler mitzutheilen. Es müssen nicht etwa nur die praktisch werthvollen einzelnen Thatfachen in einem oberflächlichen, die Concentration des

Geistes vernichtenden Spiel mit Experimenten durchgeführt, sondern das logische Denken selbst soll wesentlich geübt und gefördert werden. Ein Blick in viele Lehrbücher zeigt uns, wie wenig bis vor Kurzem in dieser Beziehung die Methode des naturwissenschaftlichen Unterrichtes ausgebildet war.

Tyndall's sämtliche Werke können trotz ihrer elementaren und populären Form als Versuche angesehen werden, die verschiedenen physikalischen Disciplinen in einer so streng logischen Aufeinanderfolge der einzelnen That-sachen und ihrer Begründung vorzuführen, dass sie dadurch eine hohe didactische, geistesbildende Bedeutung erlangen. Dieser Versuch dürfte schon insofern im Einzelnen geglückt sein, als an vielen Orten von den Darstellungen Tyndall's für Lehrzwecke ein ausgiebiger Gebrauch gemacht wird. So werden sie hoffentlich auch für die weitere Durchbildung des ganzen naturwissenschaftlichen Unterrichtes von allgemeineren segensreichen Folgen sein.

In hoch erfreulicher Weise ist in neuester Zeit auch bei uns mit Erfolg dieser unabweislichen Forderung der Jetztzeit mehr und mehr Rechnung getragen worden; wobei wir indess die classische — nicht einseitig philologische — Bildung nicht entbehren können und wollen.

In der vorliegenden zweiten Auflage der deutschen Bearbeitung, welcher die vierte englische Ausgabe zu Grunde liegt, sind die von Tyndall selbst für zweckmässig erachteten, überwiegend stylistischen Verbesserungen berücksichtigt worden. An dem Inhalt des Werkes selbst konnten indess, wie schon in der „Wärme“, nach dem ausdrücklichen Wunsche des inzwischen dahingeshiedenen Verfassers keine Aenderungen vorgenommen werden.

Leipzig, im December 1894.

G. Wiedemann.

I N H A L T.

Erste Vorlesung.

Einleitung. — Nutzen des Experiments. — Frühere wissenschaftliche Ansichten. — Beobachtende Wissenschaften. — Kenntniss des Lichtes im Alterthum. — Fehler des Auges. — Unsere Instrumente. — Geradlinige Fortpflanzung des Lichtes. — Das Gesetz des Einfalls und Reflexionswinkels. — Unfruchtbarkeit des Mittelalters. — Brechung. — Snell's Entdeckung. — Theilweise und totale Reflexion. — Geschwindigkeit des Lichtes. — Römer, Bradley, Foucault und Fizeau. — Princip der kleinsten Wirkung. — Descartes und der Regenbogen. — Newton's Versuche über die Zusammensetzung des Sonnenlichtes. — Sein Irrthum hinsichtlich der Achromasie. — Synthese des weissen Lichtes. — Gelbes und blaues Licht erzeugen weisses durch ihre Vermischung. — Farben der natürlichen Körper. — Absorption. — Mischung von Farbstoffen im Gegensatz zu der Mischung von verschieden gefärbtem Licht.

Seite 1 — 46

Zweite Vorlesung.

Ursprung physikalischer Theorien. — Wirkung des Vorstellungsvermögens. — Newton und die Emissionstheorie. — Prüfung physikalischer Theorien. — Der Lichtäther. — Wellentheorie des Lichtes. — Thomas Young. — Fresnel und Arago. — Begriff der Wellenbewegung. — Interferenz von Wellen. — Zusammensetzung der Schallwellen. — Analogien zwischen Schall und Licht. — Beispiele der Wellenbewegung. — Interferenz von Schallwellen. — Optische Darstellungen. — Tonhöhe und Farbe. — Wellenlängen des Lichtes und Schwingungsdauern der Aethertheilchen. — Interferenz des Lichtes. — Erscheinungen, die zuerst auf die Undulationstheorie führten. — Boyle und Hooke. — Die Farben dünner Blättchen. — Die

Seifenblase. — Newton'sche Ringe. — Theorie der „Anwandlungen“. — Die Erklärung der Ringe. — Beseitigung der Theorie. — Diffraction des Lichtes. — Farben durch Diffraction erzeugt. — Farben der Perlmutter Seite 47 — 100

Dritte Vorlesung.

Beziehung zwischen Theorie und Erfahrung. — Entstehung des Begriffs der Anziehung bei der Gravitation. — Begriff der Polarität, seine Entstehung. — Polarität der Atome. — Die Structur rührt von der Polarität her. — Bau der Krystalle, betrachtet als Einleitung zum Studium ihrer Wirkung auf das Licht. — Begriff der Polarität der Atome in Bezug auf die Krystallstructur. — Versuche. — Krystallisation des Wassers. — Ausdehnung durch Wärme und Kälte. — Das Verhalten des Wassers betrachtet und erklärt. — Einfluss der Krystallisation auf optische Erscheinungen. — Brechung. — Doppelbrechung. — Polarisation. — Wirkung des Turmalins. — Eigenschaften der aus Kalkspath austretenden Strahlen. — Polarisation bei gewöhnlicher Reflexion und Brechung. — Depolarisation.

Seite 101 — 132.

Vierte Vorlesung.

Farbenerscheinungen durch Krystalle im polarisirten Licht hervorgerufen. — Das Nicol'sche Prisma. — Polarisirendes und analysirendes Prisma. — Wirkung dicker und dünner Gypsplatten. — Farben, abhängig von der Dicke. — Zerlegung des polarisirten Strahles in zwei Strahlen durch den Gyps. — Der eine mehr verzögert, als der andere. — Wiedervereinigung der beiden Wellensysteme durch das analysirende Prisma. — Die Interferenz auf diese Art ermöglicht. — Dem entsprechende Erzeugung von Farben. — Wirkung von mechanisch gedehnten oder gepressten Körpern. — Wirkung von Schallschwingungen. — Wirkung von durch Wärme gedehntem oder gepresstem Glas. — Circularpolarisation. Farbenerscheinungen durch Quarz erzeugt. — Die Einwirkung des Magnetismus auf das Licht. — Ringe um die Axen der Krystalle. — Zweiaxige und einaxige Krystalle. — Uebersicht der Undulationstheorie. — Die Farbe und Polarisation des Himmelslichtes. — Erzeugung von künstlichen Himmeln. Seite 133 — 173

Fünfte Vorlesung.

Das Auge kann nicht alle Strahlen sehen. — Die ultravioletten Strahlen. — Fluorescenz. — Unsichtbare Strahlen sichtbar

zu machen. — Das Sehen ist nicht der einzige Sinn, den der Sonnen- und der elektrische Strahl erregt. — Wärme des Strahles. — Verbrennung durch den ganzen Strahl im Brennpunkte der Spiegel und Linsen. — Verbrennung durch Eislinen. — Verbrennung des Diamanten. — Aufsuchung der hier wirksamen Strahlen. — Sir William Herschel's Entdeckung der dunklen Sonnenstrahlen. — Die unsichtbaren Strahlen die Basis der sichtbaren. — Trennung der unsichtbaren Strahlen von den sichtbaren durch ein Strahlenfiltrum. — Verbrennung im dunklen Brennpunkte. — Verwandlung von Wärmestrahlen in Lichtstrahlen. — Calorescenz. — Die Rolle der dunklen Strahlen in der Natur. — Identität des Lichtes und der strahlenden Wärme. — Unsichtbare Bilder. — Reflexion, Brechung, lineare Polarisation, Depolarisation, kreisförmige Polarisation, Doppelbrechung und Magnetisirung der strahlenden Wärme. Seite 174 — 206.

Sechste Vorlesung.

Principien der Spectralanalyse. — Analyse des Lichtes weissglühender Dämpfe durch das Prisma. — Discontinuirliche Spectra. — Die Bänder im Spectrum sind nach Bunsen und Kirchhoff für die Dämpfe charakteristisch. — Entdeckung des Rubidiums, Cäsiums und Thalliums. — Beziehungen zwischen Emission und Absorption. — Die Fraunhofer'schen Linien. — Ihre Erklärung durch Kirchhoff. — Die Chemie der Sonne. — Versuch von Foucault. — Principien der Absorption. — Analogie von Schall und Licht. — Experimenteller Nachweis dieser Analogie. — Neuere Anwendungen des Spectroskops. — Uebersicht und Schluss.

Seite 207 — 249.

Anhang.

Ueber das Spectrum des polarisirten Lichtes Seite 250
Messung der Lichtwellen Seite 258
Sach- und Namenregister Seite 261



DAS LICHT.

Erste Vorlesung.

Einleitung. — Nutzen des Experiments. — Frühere wissenschaftliche Ansichten. — Beobachtende Wissenschaften. — Kenntniss des Lichts im Alterthum. — Fehler des Auges. — Unsere Instrumente. — Geradlinige Fortpflanzung des Lichts. — Das Gesetz des Einfalls und der Reflexion. — Unfruchtbarkeit des Mittelalters. — Brechung. — Snell's Entdeckung. — Theilweise und totale Reflexion. — Geschwindigkeit des Lichts. — Römer, Bradley, Foucault und Fizeau. — Princip der kleinsten Wirkung. — Descartes und der Regenbogen. — Newton's Versuche über die Zusammensetzung des Sonnenlichts. — Sein Irrthum hinsichtlich der Achromasie. — Synthese des weissen Lichts. — Gelbes und blaues Licht erzeugen weisses durch ihre Vermischung. — Farben der natürlichen Körper. — Absorption: — Mischung von Farbstoffen im Gegensatz zu der Mischung von verschieden gefärbtem Licht.

§. 1. Einleitung.

Vor etwa zwölf Jahren veröffentlichte ich in England ein kleines Werk: „Die Gletscher der Alpen“ und einige Jahre später ein zweites: „Die Wärme als eine Art der Bewegung betrachtet.“ Diesen Büchern folgten andere, die eben so anspruchslos geschrieben waren und die das gleiche Ziel erstrebten, das Ziel, die Wechsel-

beziehungen zwischen der Wissenschaft und der übrigen Welt zu erweitern und zu vertiefen. Ich stimmte mit vielen bedeutenden Männern ¹⁾ darin überein, dass es für keines der beiden Gebiete des menschlichen Schaffens förderlich wäre, wenn es dem andern fremd oder gar feindlich gegenüberstände. Um wenigstens für einen Theil der Wissenschaft diese Isolirung möglichst zu beseitigen, verzichtete ich für einige Zeit auf die selbstständige Forschung, die einzig und allein das Streben und die Freude meines Lebens war.

Die eben erwähnten Werke wurden zum grössten Theil von Herrn Appleton in New-York für Nordamerika unter der Leitung eines Mannes herausgegeben, der mit unermüdlichem Eifer gründliche wissenschaftliche Kenntnisse unter den Bewohnern der Vereinigten Staaten zu verbreiten sucht; dessen Energie, Gewandtheit und Anspruchslosigkeit in der Förderung einer schweren Aufgabe ihm die Sympathie und die Unterstützung vieler unter uns aus „dem Mutterland“ gewonnen haben. Ich meine Professor Youmans. Ebenso schnell, wie in England, wurde Zweck und Ziel dieser Werke in den Vereinigten Staaten verstanden und gewürdigt, und sie brachten mir unzählige Beweise der Anerkennung von dieser Seite des Atlantischen Oceans. Ich erhielt Jahr auf Jahr Einladungen, nach Amerika herüber zu kommen ²⁾. Voriges Jahr (1871) wurde ich durch eine so sehr liebenswürdige Aufforderung beehrt, die von fünfundzwanzig in Wissenschaft, Literatur und Politik so ausgezeichneten

¹⁾ Unter welchen ich besonders den verstorbenen Sir Edmund Head, Bar., nennen will, mit dem ich oft diesen Punkt besprochen habe.

²⁾ Eine der ersten erhielt ich von Mr. John Amory Lowell von Boston.

Namen unterschrieben war, dass ich mich entschloss, ihr zu folgen und nicht nur den bedenklichen Schwankungen des Atlantischen Oceans Trotz zu bieten, sondern auch der weit bedenklicheren Feuerprobe, persönlich vor den Bewohnern der Vereinigten Staaten zu erscheinen.

Diese Einladung, die mir durch meinen vortrefflichen Freund Professor Lesley von Philadelphia überbracht wurde, und der ein Brief desselben Inhalts von Ihrem wissenschaftlichen Nestor, dem berühmten Joseph Henry von Washington, vorangegangen war, sprach den Wunsch aus, dass ich in einigen der bedeutendsten Städte der Vereinigten Staaten Vorlesungen halten möchte. Ich versprach es, obgleich ich über den geeigneten Gegenstand noch sehr im Unklaren war. Als Antwort auf meine Fragen gab man mir zu verstehen, dass eine Reihe von Vorlesungen, die die Anwendung des Experiments bei der Pflege der Naturwissenschaften zeigen würde, die wissenschaftliche Fortbildung in diesem Lande bedeutend fördern könnte. Und obgleich solche Vorlesungen die Herstellung von schweren und zerbrechlichen Instrumenten und ihre Fortschaffung von Ort zu Ort bedingten, so entschloss ich mich doch, dem Wunsche meiner Freunde nachzukommen, so weit es meine Zeit und die zu meiner Verfügung stehenden Mittel erlauben würden.

§. 2. Gegenstand der Vorlesungen:

Lichtquelle.

Experimente sind in doppelter Beziehung von grossem Nutzen — einmal als Hilfsmittel zur Entdeckung und Bestätigung von Thatsachen und dann als Lehrmittel. Vor langer Zeit hat man sie als die Fragen des Naturforschers an die Natur bezeichnet, auf welche diese

verständliche Antworten gäbe. Diese Antworten werden indess gewöhnlich dem Fragenden so leise zugeflüstert, dass sie den Ohren des grossen Publicums unverständlich sind. Dem Entdecker folgt aber der Lehrer, dessen Aufgabe es dann ist, die Versuche seines Vorgängers so anschaulich zu machen und abzuändern, dass sie sich für eine populäre Darstellung eignen. Ich werde mich bemühen, in dem vorliegenden Falle diese secundäre Aufgabe zu lösen.

Ich habe ein einzelnes Gebiet der Naturwissenschaft ausgewählt, um in diesem an der Hand des Experiments das Wachsen der wissenschaftlichen Erkenntniss zu beweisen. Ich möchte Sie zuerst in dieser ersten Vorlesung mit einigen Grunderscheinungen bekannt machen; dann möchte ich Ihnen zeigen, wie die theoretischen Principien, durch welche die Erscheinungen erklärt werden, in dem menschlichen Geiste Wurzel fassen und zuletzt möchte ich diese Principien auf die ganze Fülle des Wissens anwenden, welches diese Vorlesungen enthalten. Das Gebiet der Optik eignet sich besonders für eine solche Behandlungsweise, und ihm will ich das Material für meinen jetzigen Zweck entnehmen. Wir beginnen am besten mit den wenigen einfachen Thatsachen, welche die Alten hinsichtlich des Lichtes kannten, und gehen von ihnen in historischer Folge zu den schwierigeren Entdeckungen der Neuzeit über.

Alle unsere Ansichten von der Natur, so erhaben oder so sonderbar sie auch sein mögen, haben immer ihren Ausgangspunkt in der Erfahrung. Die Ansicht vom persönlichen Willen in der Natur beruht auf dieser Grundlage. Der Wilde sah in dem Sturm und in dem Frieden der Naturerscheinungen das Abbild seiner eigenen wechselnden Stimmungen und schrieb deshalb diese Erscheinungen

Wesen zu, welche die gleichen Leidenschaften wie er hatten, aber an Macht ihn weit übertrafen. So lag der Begriff des Causalzusammenhangs — der Annahme, dass nichts in der Natur aus sich selbst entstände, sondern unsichtbare Antecedentien hätte — selbst in der Seele des Wilden bei seiner Erklärung der Naturerscheinungen. Aus diesem Grundzuge des menschlichen Geistes, nach den Ursachen der Erscheinungen zu suchen, ist alle Wissenschaft entsprungen.

Wir wollen nicht bis zu den ersten geistigen Tastversuchen des Menschen zurückgehen; noch weniger wollen wir uns auf die dornenvolle Untersuchung einlassen, wie der herumtastende Mensch sich entwickelte. Wir wollen ihn auf der Stufe seiner Bildung annehmen, auf der er durch allmähliche oder plötzliche Begabung den ganzen Apparat des Denkens und die Fähigkeit, ihn zu benutzen, erhielt. Für eine Zeit — und zwar historisch für eine lange Zeit — war er nur auf die Beobachtung angewiesen, er nahm an, was die Natur ihm bot, und beschränkte darauf seine geistige Thätigkeit. Die scheinbaren Bewegungen der Sonne und der Sterne regten den Verstand zuerst zu Fragen an, und so entwickelte sich die Astronomie zuerst als Wissenschaft. Langsam und sehr viel schwieriger fasste der Begriff von Naturkräften Wurzel im menschlichen Geist.

Langsam und mit vielen Schwierigkeiten kämpfend, musste sich die Wissenschaft der Mechanik aus diesen Beobachtungen entwickeln; und erst allmählich gelangte man endlich zur vollen Anwendung der mechanischen Principien auf die Bewegungen der Himmelskörper. Wir verfolgen diesen Fortschritt der Astronomie durch Hipparch und Ptolemäus; und nach langer Pause durch Copernikus, Galiläi, Tycho de Brahe und Kepler

von der Hochebene des Denkens, auf der diese Männer standen, erhebt sich Newton wie eine Bergspitze, auf alle Uebrigen von seiner gewaltigen Höhe herabsehend.

Es zogen aber noch andere Gegenstände, als die Bewegungen der Sterne, die Aufmerksamkeit der alten Welt auf sich. Das Licht war ihnen eine vertraute Erscheinung, und von den frühesten Zeiten an finden wir den Geist der Menschen beschäftigt, sein Wesen zu erklären. Ohne das Experiment, das erst einer späteren Stufe der wissenschaftlichen Entwicklung angehörte, konnte indess nur ein geringer Fortschritt gemacht werden. So waren die Alten auch weit weniger erfolgreich bei den Untersuchungen des Lichtes, als bei denen über die Bewegungen der Sonne und der Sterne. Und doch förderten sie die Frage. Sie überzeugten sich, dass sich das Licht in geraden Linien bewege; sie wussten auch, dass das Licht von polirten Oberflächen reflectirt werde, und dass der Einfallswinkel der Strahlen des Lichtes gleich dem Reflexionswinkel sei. Diese beiden Resultate der alten wissenschaftlichen Wissbegierde bilden den Ausgangspunkt unserer jetzigen Vorlesungen.

Doch wird es gut sein, zuerst einige Worte über die Lichtquelle zu sagen, die wir bei unseren Versuchen anwenden wollen. Das Rosten des Eisens entspricht ganz der langsamen Verbrennung des Eisens. Es entwickelt Wärme, und wird die Wärme zusammengehalten, so kann dabei eine hohe Temperatur erzielt werden. Wahrscheinlich rührte die Zerstörung des ersten atlantischen Kabels von der so entwickelten Wärme her. Andere Metalle sind noch leichter brennbar als Eisen. Sie können Zinkstreifen an einer Kerzenflamme anzünden und sie wie Papierstreifen verbrennen lassen. Wir müssen jetzt unsere Definition von Verbrennung er-

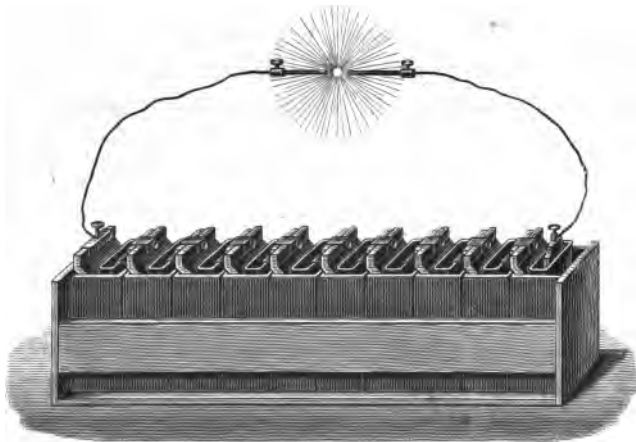
weitern, da wir mit diesem Ausdruck nicht nur Verbrennung in Luft, sondern auch Verbrennung in Flüssigkeiten bezeichnen. So ist z. B. im Wasser eine Menge Sauerstoff enthalten, die sich mit einem hineingetauchten Metall verbinden und dieses verzehren kann; einem solchen Verbrennungsprocess müssen wir das Licht und die Wärme entnehmen, die wir hier jetzt benutzen.

Die Erzeugung dieses Lichtes und dieser Wärme verdient für einen Augenblick unsere Aufmerksamkeit. Vor Ihnen steht ein Instrument — eine kleine Volta'sche Batterie —, in der Zink in eine geeignete Flüssigkeit taucht. Es wirkt in diesem Augenblick zwar schon eine Anziehungskraft zwischen dem Metall und dem Sauerstoff der Flüssigkeit, die eigentliche Verbindung findet indess zunächst noch nicht statt. Verbinden wir die beiden Enden der Batterie durch einen dicken Draht, so wird die Anziehung befriedigt, der Sauerstoff verbindet sich mit dem Metall, das Zink wird verzehrt und Wärme ist, wie gewöhnlich, das Resultat der Verbrennung. Eine Energieäusserung, die wir aus Mangel an einem besseren Namen einen elektrischen Strom nennen, geht zur selben Zeit durch den Draht.

Schneiden wir den dicken Draht in zwei Theile und verbinden die getrennten Enden durch einen dünnen Draht, so wird er weissglühend. Woher kommt diese Wärme? Nehmen wir an, dass, als wir zuerst den dicken Draht anwendeten, wir die Verbrennung fort dauern liessen, bis 100 Gramm Zink verbrannt waren, so würde es möglich sein, die in der Batterie erzeugte Wärmemenge numerisch genau anzugeben. Wir lassen, während der dünne Draht glüht, die Verbrennung andauern, bis wiederum 100 Gramm Zink verbrannt sind. Wird die in der Batterie erzeugte Wärmemenge dieselbe sein wie

vorher? Nein, sie wird genau um so viel weniger betragen, als in dem dünnen Draht ausserhalb der Batterie erzeugt worden ist. In der That erhalten wir, wenn wir die innere Wärme zur äusseren hinzurechnen, für die Verbrennung von 100 Gramm Zink eine Summe, die stets unveränderlich bleibt. Wir haben hier ein schönes Beispiel vom Gesetz der Erhaltung der Energie in der Natur, dessen Feststellung eines der grössten Verdienste der modernen Naturwissenschaft ist. Wir können also

Fig. 1.



durch diese Vorrichtung unser Zink an dem einen Orte verbrennen und die Wirkung seiner Verbrennung an einem andern zeigen. In New-York könnten wir z. B. unseren Feuerherd und Brennstoff haben, die Wärme aber und das Licht unseres Feuers könnten wir in San Francisco auftreten lassen.

Entfernen wir den dünnen Draht und befestigen an den getrennten Enden des dicken zwei Kohlenspitzen, so erhalten wir beim Zusammenbringen der Spitzen

(wie in Fig. 1) einen kleinen Lichtstern. Das Licht, das wir in unseren Vorlesungen benutzen wollen, ist eine einfache Vergrößerung dieses Sternes. Statt ihn durch zehn Elemente zu erzeugen, wenden wir deren fünfzig an. Der Apparat wird in eine mit geeigneten Linsen versehene Camera gestellt, und liefert uns die mächtigen Lichtstrahlen, deren wir für unsere Versuche bedürfen.

Ich werde hier an den allgemein verbreiteten Irrthum erinnert, dass die Werke der Natur, das menschliche Auge mit eingeschlossen, theoretisch vollkommen seien. Das Auge reift seit Jahrhunderten der Vollkommenheit entgegen, aber es kann noch Jahrhunderte dauern, ehe es dieselbe erreicht. Blicke ich nach dem strahlenden Licht unserer grossen Batterie, so sehe ich eine leuchtende Kugel, kann aber gar nichts von der Form der Kohlenspitzen sehen, von denen das Licht ausströmt. Die Ursache können wir uns folgendermassen erklären: Ein Bild der Kohlenspitzen wird auf den Schirm vor Ihnen geworfen, während die ganze Fläche der Linsen vorn in der Camera zur Herstellung des Bildes verwendet wird. Das Bild ist nicht scharf, sondern von einem Hof umgeben, der die Kohlen fast verdeckt. Dies ist eine Folge der Unvollkommenheit der Glaslinsen, welche man sphärische Abweichung genannt hat und die davon herrührt, dass die Randstrahlen und centralen Strahlen nicht denselben Brennpunkt haben. Das menschliche Auge leidet an einem ähnlichen Mangel, und aus diesen und anderen Gründen genügt der Lichtschein auf der Retina beim directen Anblick des Lichtbogens von fünfzig Elementen, um die Schärfe des Bildes der Kohlenspitzen daselbst zu vernichten. Man könnte eine lange Reihe von Mängeln am Auge auffinden — seine Trübung, seinen Mangel an

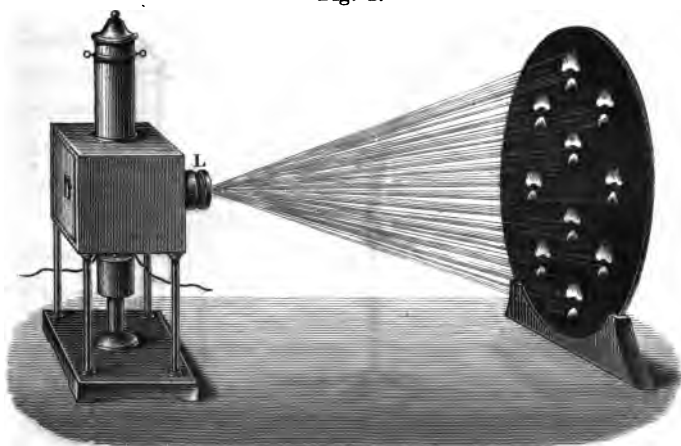
Symmetrie und Achromasie und seine partielle Farbenblindheit. Alles dies zusammengekommen, bewog H. von Helmholtz zu der Aeusserung, dass, wenn ihm ein Mechanikus ein so fehlerhaftes Instrument übersendete, er berechtigt sein würde, es ihm mit dem ernstesten Tadel zurückzuschicken. Wir dürfen aber das Auge nicht vom theoretischen Standpunkte aus beurtheilen. Es ist zwar nicht vollkommen, aber auf dem Wege zur Vollkommenheit. Zieht man die Einrichtungen, durch welche seine Mängel neutralisirt werden, in Betracht, so wird es als praktisches Instrument immer ein Wunder für den denkenden Geist bleiben.

§. 3. Geradlinige Fortpflanzung des Lichtes. Grundversuche. Gesetz der Reflexion.

Die Alten kannten die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes. Sie wussten, dass ein undurchsichtiger Körper, zwischen das Auge und einen Lichtpunkt gebracht, das Licht des Punktes auffängt. Möglicher Weise ist der Ausdruck „Lichtstrahl“ jenen geraden Lichtstreifen entnommen worden, die bei gewissen Zuständen der Atmosphäre von der Sonne bei ihrem Auf- und Niedergang ausstrahlen. Die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes kann man beobachten, wenn man das Sonnenlicht durch eine kleine Oeffnung in dem Fensterladen in ein dunkles Zimmer einfallen lässt, in dem man etwas Rauch verbreitet hat. In reiner Luft können Sie den Strahl nicht sehen, aber im Rauch können Sie es, denn das Licht, das ungesehen durch die Luft geht, wird durch die Rauchtheilchen, zwischen denen der Strahl seinen geraden Weg verfolgt, zerstreut und dadurch sichtbar.

Der folgende lehrreiche Versuch beruht auf der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes. Bohren Sie ein kleines Loch in einen geschlossenen Fensterladen, vor dem ein Haus oder ein Baum steht, und stellen Sie in das verdunkelte Zimmer einen weissen Schirm in einiger Entfernung von der Oeffnung auf. Jeder gerade Strahl, der vom Hause oder vom Baum kommt, verzeichnet seine Farbe auf dem Schirm; die Summe aller Strahlen muss das Bild des Gegenstandes sein. Die Strahlen

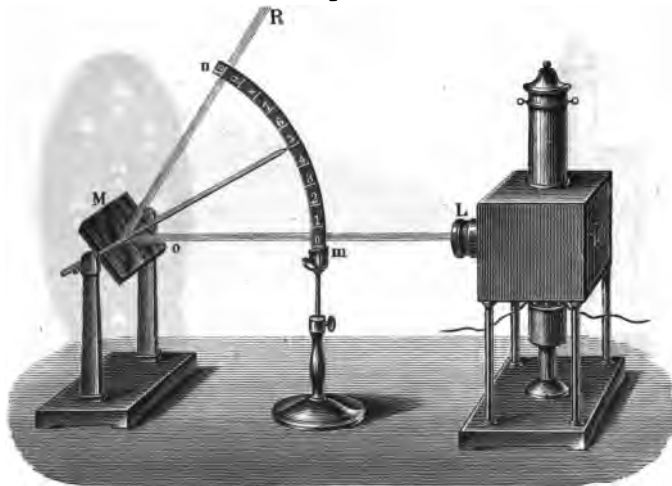
Fig. 2.



kreuzen sich in der Oeffnung und so wird das Bild umgekehrt. Diese Thatsache können wir jetzt in folgender Art veranschaulichen und erklären: Vorn in unserer Camera ist eine grosse Oeffnung, L , Fig. 2, von der die Linsen fortgenommen sind und die jetzt durch ein Blatt Stanniol geschlossen wird. Stechen wir mittelst einer gewöhnlichen Nähnadel eine kleine Oeffnung in das Stanniolblatt, so erscheint das umgekehrte Bild der Kohlenspitzen auf dem Schirm. Ein Dutzend Oeffnungen geben ein Dutzend Bilder, hundert geben hundert,

tausend geben tausend Bilder. Wie aber die Oeffnungen einander näher und näher kommen, d. h. wie das Stanniol zwischen den Oeffnungen mehr und mehr verschwindet, so decken sich die Bilder immer mehr und mehr. Nehmen wir das Stanniol ganz fort, so wird der Schirm gleichmäßig beleuchtet. So kann man das Licht auf dem Schirm als eine Uebereinanderlagerung von unzähligen Bildern der Kohlenspitzen ansehen. Ebenso kann man das

Fig. 3.



Licht auf jeder weissen Wand an einem wolkenlosen Tage als eine Folge der Uebereinanderlagerung von unzähligen Bildern der Sonne ansehen.

Das Gesetz, dass der Einfallswinkel gleich dem Reflexionswinkel ist, steht mit einer später zu erwähnenden Theorie in Beziehung, und deshalb scheint ein einfacher experimenteller Beweis des Gesetzes hier am Ort zu sein. Ein gerader Stab (der in Fig. 3 auf die Zahl 5 des Bogens weist) ist wie ein Zeiger senkrecht an einem kleinen drehbaren Spiegel (*M*) befestigt. Ein Lichtstrahl wird

zuerst auf den Spiegel geleitet und in seiner eigenen Richtung zurückgeworfen. Dreht man den Zeiger, so dreht sich der Spiegel mit ihm, und man sieht an beiden Seiten des Zeigers den einfallenden und den reflectirten Strahl (Lo, oR) sich auf dem Staub des Zimmers abzeichnen. Es genügt die unmittelbare Anschauung der beiden Winkel zwischen dem Zeiger und den beiden Strahlen, um sich von ihrer Gleichheit zu überzeugen. Betrachten wir den getheilten Kreisbogen, so ist der Bogen von 5 bis m dem Bogen von 5 bis n vollkommen gleich. Das vollständige Gesetz der Reflexion würde so lauten, dass nicht nur der Einfalls- und der Reflexionswinkel einander gleich sind, sondern dass auch die einfallenden und die reflectirten Strahlen immer in einer zur reflectirenden Oberfläche senkrechten Ebene liegen.

Dieser einfache Apparat gestattet uns, noch ein anderes Gesetz von grosser praktischer Bedeutung zu erklären, nämlich dass, wenn ein Spiegel sich dreht, die Winkelgeschwindigkeit eines von ihm reflectirten Strahles doppelt so gross ist, als die des reflectirenden Spiegels. Ein einfacher Versuch wird es Ihnen klar machen. Der Bogen (mn , Fig. 3) vor Ihnen ist in zehn gleiche Theile getheilt, und wenn der einfallende Strahl und der Zeiger den Nullpunkt der Theilung treffen, so ist sowohl der einfallende, wie auch der reflectirte Strahl horizontal. Wenn wir den Zeiger des Spiegels nach 1 bewegen, so schneidet der reflectirte Strahl den Bogen bei 2; bewegen wir den Zeiger nach 2, so wird der Bogen bei 4 geschnitten; bewegen wir den Zeiger nach 3, so wird der Bogen bei 6 geschnitten; bewegen wir den Zeiger nach 4, so wird der Bogen bei 8 geschnitten; und bewegen wir endlich den Zeiger nach 5, so wird der Bogen bei 10 (wie auf unserer Figur) geschnitten. Jedes Mal

bewegt sich der reflectirte Strahl durch den doppelten Winkel, wie der Spiegel.

Es ist eine der Aufgaben der Wissenschaft, auf denen hauptsächlich der Fortschritt in derselben beruht, den Sinnen der Menschen nachzuhelfen und sie in Regionen zu führen, die sie ohne diese Hülfe nie erreichen könnten. So bewaffnen wir das Auge mit dem Teleskop, wenn wir die weitesten Fernen des Raumes ergründen wollen, und mit dem Mikroskop, wenn wir die Bewegung und die Structur bis in die kleinsten Verhältnisse verfolgen wollen. Nun giebt uns dieses Gesetz der Winkelreflexion, verbunden mit der That-
sache, dass das Licht kein Gewicht hat, die Mittel, kleine Bewegungen in ungewöhnlichem Maße zu vergrössern. So konnte Gauss, als er Spiegel an seinen aufgehängten Magneten befestigte und die durch diese Spiegel reflectirten Bilder von getheilten Scalen beobachtete, die geringste Spur einer Veränderung der Richtung der erdmagnetischen Kraft entdecken. Durch eine ähnliche Anordnung konnten auch die schwachen Anziehungen und Abstossungen der diamagnetischen Körper bemerkbar gemacht werden. Die kleinste Ausdehnung eines Metallstabes durch die Wärme der Hand kann durch diese Methode so vergrössert werden, dass sich der zur Untersuchung derselben verwendete Strahl um 20 bis 30 Fuss bewegt. Man kann so auch die Verlängerung eines Eisenstabes durch die Magnetisirung nachweisen. Schon vor langer Zeit hat Helmholtz diese Methode angewendet, um seinen Zuhörern die classischen Versuche von du Bois Reymond über thierische Elektrizität anschaulich zu machen. Auch in den Reflexionsgalvanometern findet das Princip eine seiner wichtigsten Anwendungen.

§. 4. Brechung des Lichtes. Totale Reflexion.

In mehr als tausend Jahren wurde in der Optik kein Schritt über dieses Gesetz der Reflexion hinaus gethan. Die Gelehrten des Mittelalters bemühten sich auf der einen Seite, die Gesetze des Weltalls a priori aus ihrem eigenen Bewusstsein zu entwickeln, während andererseits viele von ihnen so mit den Betrachtungen einer zukünftigen Welt beschäftigt waren, dass sie mit tiefer Verachtung auf alle Dinge dieser Welt herabsahen. Eusebius sagt, als er von den Naturforschern seiner Zeit spricht: „Nicht aus Unkenntniss der Dinge, die sie bewundern, sondern aus Verachtung ihrer nutzlosen Arbeit denken wir wenig an diese Gegenstände und wenden unsere Seelen der Beschäftigung mit besseren Dingen zu.“ Aehnlich sagt Lactantius: „Nach der Ursache der Dinge zu suchen; zu fragen, ob die Sonne so gross sei, wie sie scheint; ob der Mond convex oder concav sei; ob die Sterne am Himmel festgeheftet sind oder frei in der Luft schweben; von welcher Gestalt und aus welchem Stoff der Himmel sei, ob er in Ruhe oder in Bewegung; welches die Grösse der Erde; auf welchem Fundament sie schwebe oder hänge; — über solche Fragen zu streiten und Vermuthungen aufzustellen, ist gerade, als ob wir darüber verhandeln wollten, was wir von einer Stadt in einer fernen Gegend denken, von der wir nur den Namen gehört haben.“

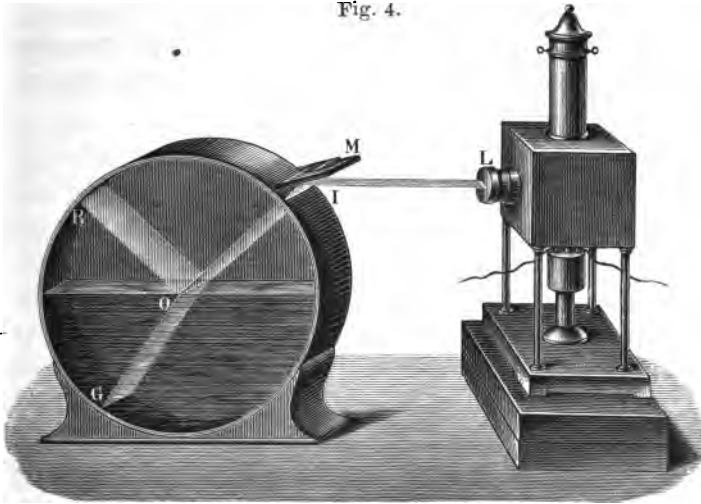
Für die Brechung des Lichtes wurde die eigentliche wissenschaftliche Forschung im Jahre 1100 von einem arabischen Forscher, Alhazen, wieder aufgenommen. Dann folgten nach einander Roger Bacon, Vitellio

und Kepler. Eine der wichtigsten Aufgaben der Wissenschaft ist, durch genaue Messungen die quantitativen Verhältnisse der Erscheinungen zu bestimmen; der Werth dieser Messungen hängt sehr von der Geschicklichkeit und der Gewissenhaftigkeit des Beobachters ab. Vitellio scheint sowohl geschickt, als auch gewissenhaft gewesen zu sein, während es Kepler's Gewohnheit war, unter den Beobachtungen seiner Vorgänger herumzuwühlen, sie nach allen Seiten zu betrachten und dann daraus die Principien zu ziehen, die sie verbanden. Er hat dies mit den astronomischen Messungen von Tycho de Brahe gethan und aus ihnen die berühmten „Kepler'schen Gesetze“ abgeleitet. Er hat es ebenfalls mit Vitellio's Messungen der Brechung versucht, war aber in diesem Falle nicht so glücklich. Das Grundprincip, so einfach es ist, fand er nicht; es wurde erst von Willebrod Snell um das Jahr 1621 entdeckt.

Weniger in der Absicht, bei der Erscheinung selbst zu verweilen, als um sie in eine Form zu kleiden, die Ihnen später den Gang der theoretischen Betrachtungen Newton's klar machen soll, will ich hier die Brechung zeigen. Ich will nicht den Weg des Strahles mit Kreide auf eine schwarze Tafel zeichnen, sondern er soll seine eigene weisse Spur vor Ihnen angeben. Ein flaches, kreisförmiges Gefäss *RIG*, Fig. 4, dessen verticale Vorderseite eine Glaswand bildet, ist halb mit Wasser angefüllt, das durch Beimischung von etwas Milch oder durch den Niederschlag von etwas Mastix getrübt worden ist. Ich werfe vermittelst eines kleinen Spiegels (*M*) durch einen im Rande des Gefässes angebrachten Spalt einen Lichtstrahl in irgend einer Richtung hinein. Er trifft auf das Wasser (bei *O*), tritt

in dasselbe ein und zieht sich durch die Flüssigkeit wie ein scharfes, helles Band (OG). Inzwischen geht der Strahl unsichtbar durch die Luft über dem Wasser, denn die Luft vermag nicht das Licht zu zerstreuen. Eine geringe Menge von Tabaksrauch enthüllt in diesem Raum sogleich die Spur des einfallenden Strahles. Ist der Einfall vertical, so bleibt der Strahl ungebrochen.

Fig. 4.



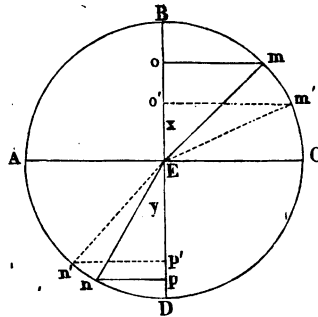
Fällt der Strahl schräg ein, so wird seine Brechung an der gemeinschaftlichen Oberfläche von Wasser und Luft (bei O) deutlich sichtbar. Man sieht auch, dass die Reflexion in der Richtung (OR) die Brechung begleitet, indem sich der Strahl dann am Einfallspunkt in einen gebrochenen und einen reflectirten Theil theilt ¹⁾.

Das Gesetz, unter das Snell alle früheren Messungen zusammenfasste, ist folgendes: $ABCD$ (Fig. 5, a. f. S.) stellt

¹⁾ Ich werde später zeigen, wie dieser einfache Apparat zum Bestimmen des Polarisationswinkels einer Flüssigkeit benutzt werden kann.

den Umriss unseres kreisförmigen Gefässes dar, AC ist die Wasseroberfläche. Fällt der Strahl in der Richtung BE ein, die senkrecht auf AC steht, so zeigt sich keine Brechung. Fällt er in der Richtung mE ein, so ist Brechung vorhanden; er wird bei E abgelenkt und trifft den Kreis bei n . Fällt er in der Richtung $m'E$ ein, so tritt ebenfalls eine Brechung bei E ein und der Strahl trifft den Punkt n' . Ziehen wir von den Enden der einfallenden Strahlen die Lothe $mo, m'o'$ und von den Enden der gebrochenen Strahlen die Lothe $pn, p'n'$

Fig. 5.



auf BD ; messen wir die Länge von mo und von pn , und theilen wir das Eine durch das Andere, so erhalten wir einen gewissen Quotienten. Theilen wir in derselben Weise $m'o'$ durch das entsprechende Loth $p'n'$, so erhalten wir jedes Mal denselben Quotienten. Snell hat in der That gefunden, dass dieser Quotient eine constante Grösse für jede besondere Substanz ist, obgleich er von Substanz zu Substanz sich ändert. Er nannte den Quotienten den Brechungsindex.

In allen Fällen, wo das Licht aus der Luft auf die Oberfläche von festen oder flüssigen Körpern trifft oder, wenn das Licht durch ein weniger brechendes auf ein

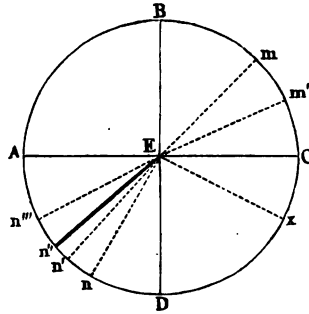
stärker brechendes Medium fällt, ist die Brechung partiell. In diesem Falle lassen die stärkst reflectirenden Substanzen einen Theil des einfallenden Lichtes hindurch oder absorbiren ihn. Bei senkrechtem Einfall reflectirt das Wasser nur 18 Strahlen von 1000; das Glas reflectirt nur 25, während Quecksilber 666 reflectirt. Treffen die Strahlen die Oberfläche in schräger Richtung, so wird die Reflexion vermehrt. Bei einem Einfallswinkel von 40° z. B. reflectirt das Wasser 22 Strahlen, bei 60° reflectirt es 65 Strahlen, bei 80° 333 Strahlen; während es bei einem Einfallswinkel von $89\frac{1}{2}^\circ$, wo das Licht fast die Oberfläche des Wassers streift, 721 Strahlen von je 1000 reflectirt. So nähert sich mit der Grösse des Einfallswinkels die Reflexion des Wassers der senkrechten Reflexion des Quecksilbers und übertrifft sie schliesslich noch; aber bei keinem Einfallswinkel, und er mag noch so gross sein, ist, wenn der Strahl von der Luft einfällt, die Reflexion vom Wasser, vom Quecksilber oder von irgend einer anderen Substanz total.

Und doch kann eine totale Reflexion eintreten. Um ihre spätere Anwendung beim Nicol'schen Prisma zu verstehen, muss ich erklären, wann sie sich zeigt. Hierzu muss ich Sie mit einem Princip bekannt machen, dem alle optischen Erscheinungen sich unterordnen — dem Princip der Umkehrbarkeit¹⁾. Wenn z. B. bei der Brechung der Strahl in schräger Richtung von der Luft in das Wasser fällt, so neigt er sich zur Senkrechten hin; fällt er vom Wasser in die Luft, so neigt er sich von der Senkrechten fort und kehrt seinen Weg gerade um. Wenn so in Fig. 5 *mEn* der Weg ist, den der Strahl

¹⁾ Aus diesem Princip leitet Sir John Herschel in einfacher und eleganter Weise das Grundgesetz der Reflexion ab. — Siehe Familiar Lectures, p. 236.

genommen, als er von der Luft in das Wasser fiel, so ist nEm der Weg, den er nimmt, wenn er vom Wasser in die Luft fällt. Wir wollen dieses Gesetz bis in seine letzten Consequenzen verfolgen. Wir wollen annehmen, dass das Licht, statt in der Richtung mE oder $m'E'$ einzufallen, so nahe als möglich in der Richtung CE (Fig. 6) einfällt, so dass es also gerade die Oberfläche streift, ehe es ins Wasser eintritt. Nach der Brechung nimmt es den Weg En'' . Im umgekehrten Fall, wenn das Licht von n'' ausgeht und bei E einfällt, wird es

Fig. 6.



beim Austritt in die Luft eben die Oberfläche des Wassers streifen. Die Frage tritt an uns heran, was wird geschehen, wenn wir annehmen, dass der Strahl aus dem Wasser den Weg $n''E$ verfolgt, der jenseits $n''E$ liegt, und die Antwort lautet, dass er gar nicht das Wasser verlassen wird, sondern in der Richtung Ex total reflectirt wird. Dabei ist das Gesetz der Reflexion für die untere Seite der Oberfläche des Wassers ganz dasselbe, wie für die obere, da auch hier der Einfallswinkel (DEn'') dem Reflexionswinkel (DEx) vollkommen gleich ist.

Die totale Reflexion kann durch einen einfachen Versuch veranschaulicht werden: Legen Sie ein Geld-

stück in ein Trinkglas und drehen Sie das Glas so, dass das vom Geldstück kommende Licht in der richtigen Neigung auf die darüber liegende Oberfläche des Wassers fällt. Sehen Sie dann von unten auf die Oberfläche, so werden Sie dort das Bild des Geldstückes gerade so hell leuchten sehen, wie das Geldstück selbst. Stellen Sie das geschlossene Ende eines leeren Reagirglases in Wasser und neigen Sie die Röhre. Genügt die Neigung, so kann das in horizontaler Richtung auf die Röhre fallende Licht nicht mehr in die darin befindliche Luft eintreten, sondern wird total aufwärts reflectirt; von oben gesehen, glänzt eine solche Röhre wie polirtes Silber. Giessen Sie etwas Wasser in die Röhre; sowie die Flüssigkeit steigt, wird die totale Reflexion vernichtet und mit ihr der Glanz; es bleibt nur ein allmählich abnehmender leuchtender Gürtel, der ganz verschwindet, wenn das Niveau des Wassers in der Röhre das Niveau ausser derselben erreicht. Jede Glasröhre, deren eines Ende wasserdicht geschlossen ist, ergiebt diese Wirkung, die ebenso schön, wie lehrreich ist.

Totale Reflexion tritt nur ein, wenn ein Strahl aus einem stärker brechenden in ein schwächer brechendes Medium überzugehen versucht; in diesem Falle aber stets, wenn der Einfallswinkel hinlänglich gross ist. Die Wüstenspiegelungen und andere Trugbilder in der Atmosphäre verdanken ihr zum Theil ihren Ursprung. Wenn die Sonne z. B. eine grosse Sandfläche erwärmt, so wird die Luftschicht, die mit dem Sand in Berührung kommt, dünner und schwächer brechend, als die darüber liegende Luft; folglich werden die Strahlen, die von einem entfernten Gegenstand sehr schräg auf die Oberfläche der erhitzten Schicht fallen, zuweilen total aufwärts reflectirt, so entstehen ähnliche Bilder, wie bei Wasser. Ich habe

auf dem erwärmten Strande der Normandie, nahe bei Avranches, das Bild eines Felsens, Mont Tombeline, umgekehrt gesehen; diese Trugbilder waren es auch, die den durstigen Soldaten der französischen Armee in Aegypten wahre Tantalusqualen bereiteten.

Der Winkel, der die Grenze bezeichnet, jenseits deren totale Reflexion eintritt, heisst der Grenzwinkel (er ist in Fig. 6 durch die dicke Linie *En''* bezeichnet). Er muss augenscheinlich abnehmen, wenn der Brechungsindex zunimmt. Für Wasser ist er $48\frac{1}{2}^{\circ}$, für Flintglas $38^{\circ}41'$ und für den Diamanten $23^{\circ}42'$. So wird alles Licht, das von zwei vollständigen Quadranten oder 180° einfällt, beim Diamanten auf den durch einen Winkel von $47^{\circ}22'$ (zwei Mal $23^{\circ}42'$) begrenzten Raum durch die Brechung condensirt. Verbunden mit diesem grossen Brechungsvermögen ist auch noch beim Diamanten ein grosses Zerstreuungs- und Reflexionsvermögen; daher kommt der ausserordentliche Glanz des Edelsteins, sowohl in weissem als auch in farbigem Licht.

§. 5. Geschwindigkeit des Lichtes. Aberration. Princip der kleinsten Wirkung.

Im Jahre 1676 wurde der Optik durch die Astronomie ein neuer Impuls gegeben. In diesem Jahre beobachtete Olav Roemer, ein gelehrter Däne, im Observatorium in Paris die Verfinsterungen der Jupitersmonde. Dieser Planet, der 475 693 000 engl. Meilen von der Sonne entfernt ist, hat fünf Monde. Uns interessirt jetzt nur der, der dem Planeten am nächsten ist. Roemer beobachtete diesen Mond, er sah ihn sich um den Planeten bewegen, und sich dann in den Schatten Jupiters

versenken wie ein Licht, das plötzlich erlischt; am anderen Rande des Schattens sah er ihn wieder auftauchen, wie ein plötzlich angezündetes Licht. So spielte der Mond die Rolle eines Signallichtes für den Astronomen und ermöglichte es ihm, seine Umlaufszeit genau zu bestimmen. Er fand, dass der Zwischenraum zwischen zwei auf einander folgenden Aufleuchtungsmomenten dieses Mondlichtes 42 Stunden 28 Minuten 35 Sekunden betrug.

Diese Zeitmessung war so genau, dass, als der Moment bestimmt war, an dem der Mond aus dem Schatten trat, auch der Moment bestimmt werden konnte, wann er zum hundertsten Male erscheinen würde. Es würden dann 100 Mal 42 Stunden 28 Minuten 35 Sekunden nach der ersten Beobachtung vergangen sein.

Roemer hatte seine erste Beobachtung angestellt, als die Erde auf ihrer Bahn die dem Jupiter zunächst gelegene Stelle berührte. Ungefähr sechs Monate nachher, als die Erde an der entgegengesetzten Seite ihrer Bahn war, fand sich, als der kleine Mond zum hundertsten Mal erscheinen sollte, dass er unpünktlich war und volle 15 Minuten hinter der berechneten Zeit zurückblieb. Sein Erscheinen war überdies allmählich immer später eingetreten, während die Erde nach der vom Jupiter entferntesten Seite ihrer Bahn zog. Roemer schloss so: „Wäre es mir möglich gewesen, an der anderen Seite der Erdbahn zu bleiben, so würde der Mond stets im richtigen Augenblick erschienen sein; ein dorthin gestellter Beobachter hätte den Mond wahrscheinlich 15 Minuten früher gesehen. Ich muss die Verzögerung bei meiner Beobachtung dem Umstande zuschreiben, dass das Licht 15 Minuten braucht, um von der Stelle, wo ich meine ersten Beobachtungen anstellte, bis hierher zu gelangen.“

Diesem Lichtblitz des Genies folgte sogleich ein zweiter. „Wenn diese Voraussetzung richtig ist,“ schloss Roemer weiter, „so muss, wenn ich mich dem Jupiter jetzt auf der anderen Seite der Erdbahn wieder nähere, die Verzögerung allmählich abnehmen, und wenn ich an den Punkt meiner ersten Beobachtung komme, darf gar keine Verzögerung mehr stattfinden.“ Er fand dies bestätigt und bewies dadurch nicht nur, dass das Licht Zeit braucht, um durch den Raum zu dringen, sondern konnte auch seine Fortpflanzungsgeschwindigkeit bestimmen.

Die Geschwindigkeit des Lichtes beträgt nach den Bestimmungen Roemer's 192 500 engl. Meilen (309 800 Kilom.) in der Secunde.

Für den Augenblick fanden indess die Beobachtungen und Schlüsse Roemer's keinen Glauben. Cassini, Fontenelle und Hooke bezweifelten sie. Dann kam plötzlich die unerwartete Uebereinstimmung der Beobachtung des englischen Astronomen Bradley mit der Roemer's. Er beobachtete, dass die Fixsterne nicht wirklich festständen, sondern jedes Jahr am Himmel kleine Bahnen beschrieben. Diese Entdeckung machte Bradley stutzig, da er aber ein offenes Auge für die Bedeutung auch der geringfügigsten Erscheinung hatte, konnte er auch in der unbedeutendsten Thatsache ein Bild der grössten erkennen. Als er eines Tages in einem Boot auf der Themse fuhr, bemerkte er, dass die Flagge an seinem Mast, so lange er den Curs des Bootes nicht änderte, anzeigte, dass der Wind constant in derselben Richtung blies, dass aber der Wind mit jedem Wechsel in der Richtung des Bootes sich zu verändern schien. „Hier war,“ wie Whehell sagt, „ein Analogon zu seiner Beobachtung. Das Boot war die Erde, die sich auf

ihrer Bahn bewegte, und der Wind war das Licht eines Sternes.“

Wir könnten fragen, was wären Wind und Fahne für Bradley gewesen, wenn er nicht die Fähigkeit besessen hätte, die Analogie zu erfassen? Wind und Fahne und nichts weiter. Sie werden die Bedeutung von Bradley's Entdeckung sogleich verstehen. Denken Sie sich, Sie sässen in einem stillstehenden Eisenbahnzug, während ein Regenschauer vertical herabströmt. In dem Augenblick, wo der Zug sich zu bewegen anfängt, scheinen die Regentropfen schräg zu fallen, und, je schneller der Zug sich bewegt, desto schräger wird ihre Richtung. In ganz derselben Weise scheinen die Strahlen eines vertical über unserem Haupte stehenden Sternes in Folge der Bewegung der Erde schräg durch den Raum zu fallen. Da wir die Geschwindigkeit des Zuges und die Neigung des fallenden Regens kennen, können wir die Geschwindigkeit der Tropfen berechnen, und da wir die Geschwindigkeit der Erde auf ihrer Bahn und die durch sie erzeugte Neigung der Strahlen kennen, können wir ebenso leicht die Geschwindigkeit des Lichtes berechnen. Bradley that dies, und durch die „Aberration des Lichtes“, wie seine Entdeckung genannt wurde, vermochte er dem Lichte eine Geschwindigkeit zuzuerkennen, die mit der, die Roemer durch eine gänzlich verschiedene Beobachtungsmethode gefunden hatte, fast identisch war. Dann bestimmten Fizeau, und ganz neuerdings Cornu die Geschwindigkeit des Lichtes, indem sie nicht die Entfernungen der Planeten oder der Sterne benutzten, sondern ganz einfach den Durchmesser von Paris; während Foucault — ein Mann von seltenem mechanischen Genie — das Problem löste, ohne sein Zimmer zu verlassen. In Folge eines

Irrthums in der Bestimmung der Entfernung der Erde von der Sonne ist die Geschwindigkeit, die Roemer und Bradley dem Lichte zuschrieben, zu gross. Mit ziemlich genauer Sicherheit kann sie auf 186 000 engl. Meilen (299 300 Kilom.) in der Secunde angenommen werden.

Durch Roemer's Entdeckung wurde die von Descartes behauptete und von Hooke angenommene Ansicht, dass das Licht sich ohne Zeitverlust durch den Raum fortpflanzte, umgestossen. Die Bestimmung seiner Geschwindigkeit durch den Sternenraum führte aber auch zu Betrachtungen über seine Geschwindigkeit in durchsichtigen irdischen Substanzen. Der Brechungsindex eines Strahles, der von der Luft in das Wasser fällt, ist $\frac{4}{3}$. Newton nahm an, dass diese Zahlen bedeuten sollten, dass, wenn die Geschwindigkeit des Lichtes im Wasser 4 sei, seine Geschwindigkeit in der Luft 3 sei, und er leitete die Brechungserscheinungen aus dieser Annahme ab. Huygens hatte die entgegengesetzte und richtigere Ansicht. Nach ihm ist die Geschwindigkeit des Lichtes im Wasser 3, die Geschwindigkeit in der Luft 4. Aber sowohl in Newton's, wie in unserer Zeit bestimmte und bestimmt dasselbe grosse Princip den Lauf des Lichtes in allen Fällen. Geht das Licht von einer Stelle zur anderen durch irgend ein beliebiges Medium, oder wird es in irgend einer Weise reflectirt oder gebrochen, so nimmt es immer den Lauf, der die geringste Zeit beansprucht. So erreicht in Fig. 4 das Licht, wenn wir seine Geschwindigkeit in Luft und in Wasser mit in Betracht ziehen, *G* von *I* aus schneller, wenn es erst nach *O* geht und dort seinen Weg ändert, als wenn es gerade von *I* nach *G* ginge. Man kann dies leicht verstehen, da

das Licht im letzteren Falle eine grössere Entfernung im Wasser durchlaufen musste, einem Medium, das seine Geschwindigkeit mehr verzögert.

§. 6. Descartes' Erklärung des Regenbogens.

Snell's Gesetz der Brechung ist einer der Grundsteine der Optik und seine jetzigen Anwendungen sind millionenfach. Descartes wendete es gleich nach seiner Entdeckung bei der Erklärung des Regenbogens an. Ein Strahl des Sonnenlichtes, der schräg auf einen Regentropfen fällt, wird gebrochen, wenn er in den Tropfen tritt. Zum Theil wird er an der Hinterseite des Tropfens reflectirt und dann bei seinem Austritt auf der Vorderseite noch einmal gebrochen. Durch diese beiden Brechungen und diese eine Reflexion erreicht das Licht das Auge eines Beobachters, der, dem Tropfen gegenüber, mit dem Rücken gegen die Sonne steht.

Denken Sie sich eine Linie von der Sonne bis zum Auge des Beobachters gezogen und über den Beobachter hinaus verlängert. Denken Sie sich vom Regenschauer aus eine andere Linie zum Auge gezogen, die mit der von der Sonne aus gezogenen Linie einen Winkel von $42\frac{1}{2}^{\circ}$ einschliesst. In der Richtung dieser zweiten Linie sendet uns der an ihrem Ende befindliche Regentropfen, wenn er von einem Sonnenstrahl getroffen wird, einen Strahl von rothem Licht zu. Jeder andere, ebenso gelegene Tropfen, d. h. jeder Tropfen, der in einem Winkelabstand von $42\frac{1}{2}^{\circ}$ von der durch die Sonne und das Auge gezogenen Linie liegt, wird dasselbe thun. So bildet sich ein kreisrundes Band von rothem Licht, welches als Grenzlinie der Basis eines Kegels angesehen werden kann, dessen Spitze im Auge des Beobachters liegt. In

Folge der Grösse der Sonne beträgt die Breite dieses rothen Bandes einen halben Grad.

Denken Sie sich, dass eine andere Linie vom Auge des Beobachters aus gezogen sei, die wieder einen bestimmten Winkel mit der Verlängerung der von dem Auge zur Sonne gezogenen Linie einschliesst, aber nicht von $42\frac{1}{2}^{\circ}$, sondern von $40\frac{1}{2}^{\circ}$. Wird ein am fernerem Ende dieser Linie befindlicher Regentropfen von einem Sonnenstrahl getroffen, so sendet er dem Auge violettes Licht zu. Alle Tropfen in demselben Winkelabstand werden dasselbe thun, und wir werden daher ein Band von violettem Licht von derselben Breite, wie das rothe Band erhalten. Diese beiden Bänder bilden die Grenzfarben des Regenbogens, und zwischen ihnen liegen die Bänder, die den anderen Farben entsprechen.

So umschliessen die beiden Linien, die von dem Auge bis zur Mitte des Bogens und zur Sonne gezogen werden, stets einen Winkel von etwa 41° . Einen Grund hierfür zu finden, war die grosse Schwierigkeit, die bis zu den Zeiten Descartes' ungelöst blieb.

Mit der Feder in der Hand berechnete Descartes nach Snell's Gesetz den Lauf jedes einzelnen Strahles durch einen Regentropfen und fand, dass bei einem bestimmten Winkel die Strahlen einander fast parallel aus dem Regentropfen austraten. Sie vermochten so ihre Intensität durch grosse Entfernungen in der Atmosphäre zu bewahren. Bei allen anderen Winkeln verliessen die Strahlen den Tropfen divergirend und wurden durch diese Divergenz so geschwächt, dass sie für das Auge unsichtbar wurden. Der hier erwähnte Winkel für den Parallelismus betrug 41° , und die Beobachtung hat bewiesen, dass er mit dem Regenbogen unabänderlich verbunden ist.

Aus dem Mitgetheilten ist es klar ersichtlich, dass zwei neben- oder übereinander stehende Beobachter, ja, dass selbst die beiden Augen desselben Beobachters nicht genau denselben Regenbogen sehen. Die Lage der Basis des Kegels ändert sich mit der seiner Spitze. Es wird uns hier nicht schwer, eine oft aufgeworfene Frage zu beantworten — ob man nämlich einen Regenbogen sich jemals im Wasser spiegeln sehen kann. Sieht man zwei Bogen, den einen am Himmel, den anderen im Wasser, so könnte man der Ansicht sein, dass der eine in demselben Verhältniss zum anderen stände, wie der Baum am Ufer zu seinem reflectirten Bilde. Die Strahlen indess, die das Auge des Beobachters nach der Reflexion erreichen, und die einen Regenbogen im Wasser bilden, würden, wenn ihr Lauf nicht vom Regenschauer unterbrochen würde, in einem Punkt zusammenlaufen, der vertical unter dem Beobachter ebenso tief unter der Oberfläche des Wassers läge, wie sein Auge darüber. Doch unter keiner Bedingung könnte ein Auge über der Wasserfläche und eines darunter denselben Regenbogen sehen — mit anderen Worten, dieselben Regentropfen können nicht den reflectirten Bogen und den direct am Himmel gesehenen Bogen bilden. Daher ist auch der reflectirte Bogen im gewöhnlichen optischen Sinne des Wortes nicht das Bild des am Himmel gesehenen Bogens.

§. 7. Analyse und Synthese des Lichtes. Farbenlehre.

Im Regenbogen trat eine neue Erscheinung auf — die Erscheinung der Farbe. Wir sind hier an einem jener Zeitpunkte in der Wissenschaft ange-

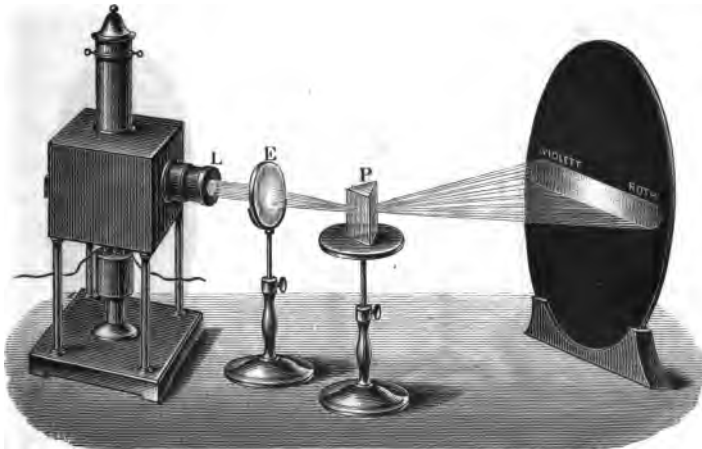
langt, wo die Arbeiten der grossen Gelehrten sich so mischen, dass es schwer ist, jedem einzelnen Arbeiter sein bestimmtes Mafs von Anerkennung zu Theil werden zu lassen. Descartes stand an der Schwelle der Entdeckung der Zusammensetzung des Sonnenlichtes, aber Newton war die Enthüllung des wahren Gesetzes vorbehalten. Er bohrte durch den geschlossenen-Fensterladen eines Zimmers ein Loch und liess einen dünnen Sonnenstrahl hindurch fallen. Der Strahl verzeichnete ein rundes weisses Bild der Sonne auf der gegenüberstehenden Wand des Zimmers. Newton stellte in den Weg dieses Strahles ein Prisma und erwartete den Strahl gebrochen zu sehen, das Bild der Sonne aber nach der Brechung auch noch wieder rund zu finden. Zu seiner Ueberraschung war es zu einem Bilde ausgedehnt, das fünfmal so lang, als breit war. Ueberdies war es nicht mehr weiss, sondern in Bänder von verschiedenen Farben getheilt. Newton erkannte augenblicklich, dass das Sonnenlicht zusammengesetzt, nicht einfach sei. Sein verlängertes Bild enthüllte ihm die Thatsache, dass einige Theile des Lichtes von dem Prisma mehr abgelenkt wurden als andere, und er schloss daraus, dass das weisse Licht eine Mischung von Lichtern von verschiedenen Farben und von verschiedenen Graden der Brechbarkeit sei.

Wir wollen diesen berühmten Versuch nachmachen. Auf den Schirm ist jetzt eine leuchtende Scheibe geworfen, die wir als Newton's Bild der Sonne ansehen können. Lassen wir den Strahl (von *L*, Fig. 7), der die Scheibe erzeugt, durch eine Linse (*E*) fallen, die ein deutliches Bild der Oeffnung giebt, und dann durch ein Prisma (*P*) gehen, so erhalten wir Newton's gefärbtes Bild mit seinen rothen und violetten Endfarben, das

er ein Spectrum nannte. Newton theilte das Spectrum in sieben Theile — roth, orange, gelb, grün, blau, indigo, violett —, die gewöhnlich die sieben primären oder prismatischen Farben genannt werden. Die Zerlegung des weissen Lichtes in seine einzelnen Farben heisst Dispersion.

Dies war die erste Analyse des Sonnenlichtes durch Newton. Da aber der Naturforscher immer

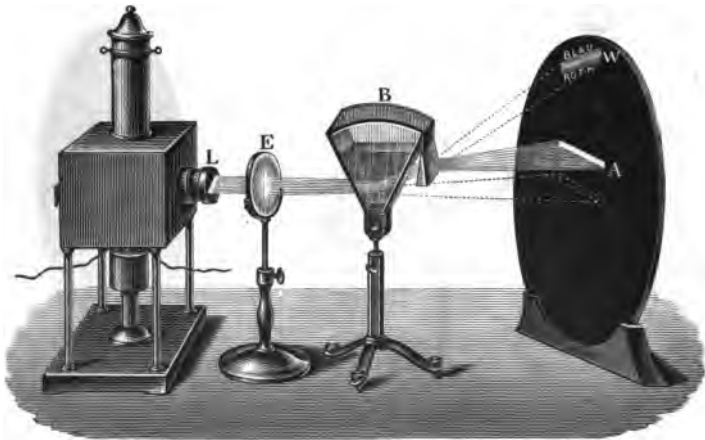
Fig. 7.



nach einer Bestätigung der einzelnen Facta strebt und dieselbe stets sucht, wann und wo es irgend möglich ist, so vervollständigte Newton seinen Beweis durch die Synthese. Das Spectrum vor Ihnen wird durch ein Glasprisma erzeugt. Lassen wir den zerlegten Strahl durch ein zweites ähnliches Prisma fallen, stellen dieses aber so, dass die Farben zu ihrer ursprünglichen Richtung zurück gebrochen und wieder vereint werden, so erhalten wir die vollkommen weisse, leuchtende Scheibe wieder.

In diesem Falle werden Brechung und Dispersion gleichzeitig vernichtet. Werden sie es immer? Können wir die eine ohne die andere haben? Newton's Schlussfolgerung war, dass wir es nicht könnten. Er irrte hier, und sein Irrthum, den er bis an das Ende seines Lebens festhielt, verzögerte den Fortschritt der optischen Entdeckungen. Dollond bewies später, dass durch Zusammenstellung zweier verschiedener richtig ausgewählter Glassorten die Farben ausgelöscht werden können, wobei

Fig. 8.



aber noch ein Rückstand von Brechung zurückbleibt. Diesen Rückstand verwandte er zur Construction von achromatischen Linsen — Linsen, die keine Farbe geben — was Newton für eine Unmöglichkeit hielt. Wenn wir vor ein Wasserprisma, das in einem keilförmigen Gefäß mit Glaswänden enthalten ist (B, Fig. 8), in umgekehrter Lage einen Glaskeil (rechts von B) setzen, so kann ich Ihnen diese Erscheinung hier zeigen. Wir haben zuerst die Stelle (punktirt) bezeichnet, wo der ungebrochene Strahl auf den Schirm trifft, dann erzeugen wir das

schmale Wasserspectrum (*W*) und zuletzt, indem wir ein Flintglasprisma einführen, brechen wir den Strahl wieder zurück, bis die Farbe (bei *A*) verschwindet. Das Bild der Spalte ist jetzt weiss, aber obgleich die Dispersion vernichtet ist, bleibt doch noch immer eine ziemlich grosse Ablenkung bestehen.

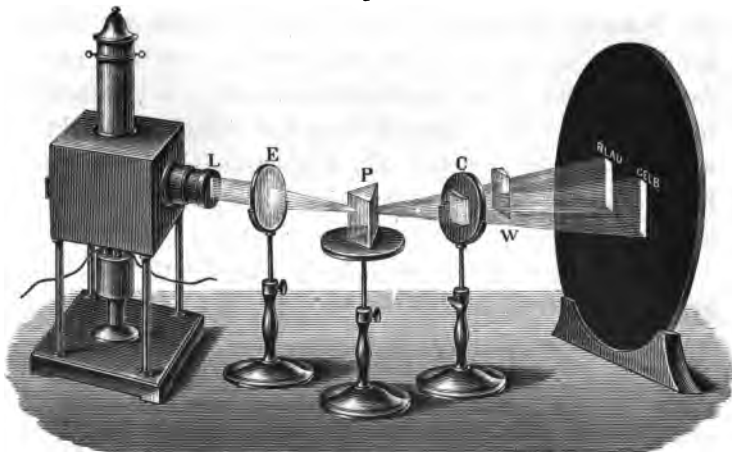
Wir wollen hier noch die experimentellen Hilfsmittel besprechen, deren wir uns in den folgenden Vorlesungen bedienen werden. Die Körper unterscheiden sich bedeutend von einander in Bezug auf ihr Brechungs- und Dispersionsvermögen. Beobachten Sie die Stellung des Wasserspectrums auf dem Schirm. Lassen wir das keilförmige Gefäss ganz unverändert und ersetzen nur das Wasser durch den durchsichtigen Schwefelkohlenstoff, so sehen Sie, wie viel nach oben der Strahl abgelenkt wird und wie viel reicher sein Farbenspiel ist. Um die Breite unseres Spectrums zu vergrössern, benutzen wir hier (bei *L*) einen Spalt statt einer runden Oeffnung¹⁾.

Die Synthese des weissen Lichtes kann auf dreierlei Arten erreicht werden, denen wir jetzt unsere Aufmerk-

¹⁾ Das geringe Dispersionsvermögen des Wassers verdeckt, wie Helmholtz bemerkt hat, die unvollkommene Achromasie des Auges. Mit dem blossen Auge kann ich eine entfernte blaue Scheibe scharf begrenzt sehen, nicht aber eine rothe. Ich kann auch die Linien, die die oberen und unteren Grenzen eines horizontalen gebrochenen Spectrums bilden, deutlich am blauen Ende sehen, aber nur unklar am rothen. Wenn ich eine beleuchtete kreisförmige Oeffnung auf einen Schirm projicire und den einen Halbkreis der Oeffnung mit einem rothen und den anderen mit einem grünen oder blauen Glas bedecke, so ist in diesem Falle und in unzähligen anderen Fällen der Unterschied zwischen den scheinbaren Grössen der beiden Halbkreise ausserordentlich gross. Viele Menschen sehen diese scheinbaren Grössen der Halbkreise umgekehrt. Corrigire ich mit einer Brille die Zerstreuung des rothen Lichtes auf der Retina, dann hört das blaue Licht auf, ein in seinen Umrissen scharf begrenztes Bild zu geben. So untersucht, erscheint die Abweichung des Auges von der Achromasie wirklich sehr gross.

samkeit zuwenden wollen. Wir haben jetzt hier ein schönes Spectrum, das durch die Zerlegung des Strahles (von *L*, Fig. 9) erzeugt worden ist. Vor die eine Seite des Prismas (*P*) wird ein Schirm mit einem länglichen Spalt gestellt (nicht sichtbar auf der Abbildung), durch welchen der Strahl auf das Prisma fällt. Er tritt zerlegt auf der anderen Seite heraus. Ich lasse die Farben durch eine cylindrische Linse (*C*) gehen, die sie so zusammendrängt, dass auf dem Schirm ein scharf gezeichnetes, rechteckiges Bild des longitudinalen Spaltes

Fig. 9.



(er steht jetzt aufrecht) erscheint. In diesem Bilde sind die Farben wieder vereinigt, es ist vollkommen weiss. Zwischen dem Prisma und der cylindrischen Linse kann man die Farben sehen, wie sie ihren Weg durch den Staub im Zimmer abzeichnen. Schneidet man durch eine Karte den brechbarsten Theil ab, so sieht man das Rechteck roth; schneidet man den wenigst brechbaren Theil ab, so sieht man das Rechteck blau. Mittelst eines spitzen Glasprismas (*W*) lenke ich einen Theil

der Farben ab und lasse den übrigen Theil unverändert. Auf dem Schirm sind jetzt zwei Rechtecke von verschiedenen Farben. Dieses sind complementäre Farben — Farben, die durch ihre Vereinigung Weiss erzeugen. Bei richtiger Stellung des Prismas wird die eine dieser Farben gelb und die andere blau werden. Entferne ich das spitze Prisma, so mischen sich Gelb und Blau und Weiss ist das Resultat ihrer Mischung. Durch diesen Versuch beseitigen wir den Irrthum, auf den Wunsch und dann unabhängig von ihm Helmholtz aufmerksam machte, dass eine Mischung von blauem und gelbem Lichte Grün erzeuge.

Setzen wir die kreisförmige Oeffnung wieder ein, so erhalten wir wieder das Newton'sche Spectrum. Vermittelst einer Linse können wir diese Farben auffangen und sie zusammenfügen, nicht zu dem Bilde der Oeffnung, sondern zu dem Bilde der Kohlenspitzen selbst.

Endlich können wir die prismatischen Farben auf der Retina mit Hülfe einer rotirenden Scheibe, auf welcher in Kreisausschnitten die Farben des Spectrums angebracht sind, in dem Auge selbst verschmelzen und so den Eindruck des Weiss hervorrufen.

Nachdem wir die in einander verwobenen Bestandtheile des weissen Lichtes entwirrt haben, müssen wir jetzt fragen: Welche Rolle vermag dieses Agens durch seine so eigenthümliche Zusammensetzung in der Natur zu spielen? Wir verdanken ihm alle Erscheinungen der Farbe, und doch nicht ihm allein, denn es muss eine gewisse Beziehung zwischen den kleinsten Theilchen der natürlichen Körper und dem weissen Licht geben, um es ihnen möglich zu machen, aus dem weissen Licht die Pracht ihrer Farben zu entnehmen. Die Thätigkeit der Naturkörper ist hier nur wählerisch, nicht

schöpferisch. Es wird keine Farbe von irgend einem Körper erzeugt. In dem weissen Licht der Sonne wird auf die Körper in der Natur die ganze Fülle aller möglichen Farben ausgeschüttet, und die Thätigkeit derselben beschränkt sich darauf, diese Summe zu sichten und von den Farben einige aufzunehmen oder zu absorbiren, und die übrigen zurückzuwerfen. Sie werden diese Behauptung besser verstehen, wenn ich sage, dass es der Theil des Lichtes ist, den die Körper zurückwerfen, und nicht der, welchen sie sich aneignen oder absorbiren, der ihnen ihre Farbe giebt.

Wir wollen unsere experimentelle Untersuchung mit der Frage beginnen: Was versteht man unter Schwarz? Ziehen Sie ein schwarzes Band durch alle Farben des Spectrums; es löscht sie alle aus. So wird der Begriff von Schwarz enthüllt — es ist das Resultat der Absorption aller Bestandtheile des Sonnenlichtes. Ziehen Sie ein rothes Band durch das Spectrum. Im rothen Licht ist das Band blendend roth. Warum? Weil das Licht, das auf das Band fällt, nicht ausgelöscht oder absorbirt, sondern grossentheils zum Auge zurückgeworfen wird. Legen Sie dasselbe Band in das Grün des Spectrums, so erscheint es schwarz wie Kohle. Es absorbirt das grüne Licht und versenkt den Raum, auf den das Licht fällt, in tiefste Dunkelheit. Legen Sie ein grünes Band in das Grün des Spectrums. Es leuchtet lebhaft in seiner eigenen Farbe; bringen Sie das Band in das Roth, so ist es wieder schwarz wie Kohle. Es absorbirt hier alles auffallende Licht, und zeigt dem Auge nur tiefe Dunkelheit.

Wenn wir weisses Licht benutzen, so sieht das rothe Band dasselbe, indem es das Grün auslöscht, und das grüne Band, indem es das Roth auslöscht, und beide Bänder zeigen die übrigbleibende Farbe. Daher ist der

Process, durch den die Körper ihre Farbe erhalten, ein negativer. Die Farben werden durch Subtraction, nicht durch Addition erzeugt. Dieses rothe Glas ist roth, weil es alle brechbareren Strahlen des Spectrums zerstört. Diese blaue Flüssigkeit ist blau, weil sie alle weniger brechbaren Strahlen zerstört. Beide zusammen sind dunkel, weil das von dem Einen durchgelassene Licht vom Anderen ausgelöscht wird. Wir erhalten so durch die Vereinigung zweier durchsichtiger Substanzen eine Combination, die sich schwarz wie Pech gegen das Sonnenlicht verhält. Diese andere Flüssigkeit ist purpurroth, weil sie das Grün und Gelb auslöscht und den Farben an den beiden Enden des Spectrums den Durchgang unbehindert gestattet. Aus der Vermischung vom Blau und Roth ist diese prachtvolle Purpurfarbe entstanden.

Noch ein Wort, um Alles ganz klar zu machen. Das Licht, das auf einen Körper fällt, wird in zwei Theile getheilt, von denen der eine von der Oberfläche des Körpers reflectirt wird, und dieser hat in den meisten Fällen die gleiche Farbe, wie das einfallende Licht. Ist das einfallende Licht weiss, so wird das auf der Oberfläche reflectirte Licht auch weiss sein. Sonnenlicht z. B., selbst wenn es von der Oberfläche eines schwarzen Körpers reflectirt wird, ist weiss. Der schwärzeste Camphinrauch lässt in einer dunklen Stube, in die ein Sonnenstrahl aus einer Oeffnung im Fensterladen fällt, die Spur des Strahles durch das Licht, das von den Oberflächen der Russtheilchen verstreut wird, weiss erscheinen. Der Mond erscheint uns

„Gehüllt in weissen Sammt, mystisch schön“

und, wäre er selbst mit dem schwärzesten Sammet bedeckt, würde er doch noch als weisse Kugel am Himmel

schweben und ebenso auf unsere Welt hernieder scheinen, wie jetzt.

§. 8. Farben von Farbstoffen, verschieden von den Farben des Spectrums.

Der zweite Theil des einfallenden Lichtes dringt in den Körper ein, und von der Art seiner Aufnahme in demselben hängt die Farbe des Körpers ab. Wir wollen die Wirkung der Farbstoffe auf das Licht näher analysiren. Dieselben sind aus Theilchen zusammengesetzt, die mit einem Träger des Lichtes vereint sind. Aber so innig die Theilchen mit einander vermischt sein mögen, sie bleiben immer Theilchen, die stets von einander getrennt sind, wenn auch durch äusserst kleine Entfernungen. Sie sind im wissenschaftlichen Sinne nicht optisch continuirlich. Wo aber die optische Continuität zerrissen ist, haben wir stets eine Reflexion von einfallendem Licht. Es ist die Menge von Reflexionen an den Grenzflächen der Theilchen, die das Licht hindert, durch Schnee, gepulvertes Glas oder Steinsalz zu fallen. Das Licht wird hier in einer Unmasse von „Echos“ erschöpft, nicht durch wirkliche Absorption ausgelöscht. Es ist dieselbe Reflexion, die die Gewitterwolke für Licht so undurchdringlich macht. Eine solche Wolke besteht aus Wassertheilchen, die mit Lufttheilchen gemischt sind; beide getrennt sind durchsichtig, aber vermischt sind sie vollkommen undurchsichtig.

Bei den Farbstoffen wird das Licht an den Grenzflächen der Theilchen reflectirt, es wird aber zum Theil in den Theilchen absorbirt. Die Reflexion ist nothwendig, um das Licht zum Auge zurückzusenden;

die Absorption ist nothwendig, um dem Körper seine Farbe zu geben. Dieselbe Beobachtung trifft bei den Blumen zu. Die Rose verdankt ihre rothe Farbe nicht dem Licht, das von ihrer Oberfläche reflectirt wird, sondern dem Licht, das in ihre Substanz eingedrungen und an den inneren Flächen reflectirt ist, und dessen Grün bei der Rückkehr durch die Substanz ausgelöscht worden ist. Ein ähnlicher Process vernichtet bei tiefgrünen Blättern das Roth und sendet dem Auge grünes Licht aus dem Innern der Blätter zu.

Alle Körper, auch die durchsichtigsten, absorbiren das Licht mehr oder weniger. Nehmen wir Wasser. Ein Glasgefäß mit klarem Wasser, das in den Weg unseres Strahles gestellt wird, verändert nicht merklich eine der Spectralfarben. Und doch ist hier Absorption, wenn auch noch unsichtbar, eingetreten. Um sie sichtbar werden zu lassen, brauchen wir nur die Dicke der Wasserschicht zu vergrößern, durch die das Licht fällt. Statt eines Gefäßes von 1 Zoll Dicke wollen wir eine Schicht von zehn oder fünfzehn Fuss Dicke nehmen, dann ist die Farbe des Wassers sehr sichtbar. Vergrößern wir die Dicke, so absorbiren wir mehr Licht, und ist die Dicke sehr gross, so absorbiren wir das Licht vollständig. Lampenruss oder Pech können nicht mehr thun, und der einzige Unterschied zwischen ihnen und dem Wasser ist der, dass bei ihnen eine sehr geringe Dicke genügt, um das Licht auszulöschen. Der Unterschied zwischen der grössten bekannten Durchsichtigkeit und der grössten bekannten Undurchsichtigkeit ist nur ein quantitativer.

Wenn wir nun die Wasserschicht so dick nehmen, dass sie alles Licht auslöscht, und wenn uns vom Innern des Wassers kein Licht erreicht, so haben wir die noth-

wendige Bedingung zur Erzeugung des Schwarz. Blicken wir in den Atlantischen Ocean, so können wir an einzelnen Stellen kaum irgend eine Spur von Farbe entdecken; höchstens trifft ein Schein von dunklem Indigo das Auge. Das Wasser ist in der That schwarz, und dieses ist ein Beweis seiner Tiefe und auch seiner Reinheit. Die Erscheinung verändert sich aber gänzlich, sowie der Ocean feste Theilchen in einem Zustande mechanischer Vertheilung enthält, die zum Auge Licht zurückwerfen können.

Werfen Sie z. B. einen weissen Kieselstein oder einen weissen Porcellanteller in das schwärzeste Wasser des Atlantischen Oceans; sowie er sinkt, wird er grüner und grüner, und ehe er verschwindet, färbt er sich lebhaft blaugrün. Zerschneiden Sie einen solchen Kiesel oder Teller in einzelne Theilchen, so werden sich diese ebenso wie die unzerbrochene Masse verhalten; zermahlen Sie den Kieselstein zu Pulver, so liefert jedes Theilchen eine geringe Menge von Grün, und sind die Theilchen so klein, dass sie im Wasser schweben, so erscheint das zerstreute Licht gleichmässig grün. Daher die grüne Farbe des seichten Wassers. Von dem schwarzen Wasser des Atlantischen Oceans umgeben, legen Sie sich schlafen. Wenn Sie am Morgen aufstehen, ist das Wasser lebhaft grün; und daraus schliessen Sie mit grosser Sicherheit, dass Sie über die Bank von Newfoundland fahren. Solches Wasser ist mit fein vertheilter Materie erfüllt. Das vom Grund des Meeres zurückgeworfene Licht kann auch bisweilen mit ins Spiel kommen, es ist aber nicht nothwendig. Der Schaum, den das Steuer oder die Schaufelräder eines Dampfbootes unter dem Wasser erzeugen, leuchtet gleichfalls in lebhaftem Grün. Der Schaum bildet hier die

reflectirende Oberfläche, das Wasser zwischen ihm und dem Auge das absorbirende Medium.

Nichts kann schöner als das Grün der Wellen des Atlantischen Oceans sein, wenn die Verhältnisse für die Erzeugung der Farben günstig sind. So lange eine Welle ungebrochen bleibt, zeigt sich keine Farbe, läuft aber der Schaum ihren Rücken entlang, wie ein Schneekamm auf den Alpen, so sehen wir oft unter dem Kämme ein Farbenspiel vom schönsten Grün. Es erscheint metallisch in seinem Glanz. Der Schaum wird zuerst beleuchtet und zerstreut das Licht nach allen Richtungen; nur das Licht, das durch die oberen Theile der Welle geht, erreicht das Auge und verleiht diesem Theil seine unvergleichlich schöne Farbe. Das Ueberstürzen der Welle erzeugt eine Reihe von longitudinalen Erhebungen und Senkungen, die wie Cylinderlinsen wirken, Veränderungen in der Intensität des Lichtes hervorrufen und seine Schönheit bedeutend erhöhen.

Wir sind jetzt so weit vorbereitet, dass wir eine Frage näher besprechen können, die schon angedeutet wurde und über die man lange im Irrthum war. In vielen Büchern werden Sie gelesen haben, dass eine Mischung von gelbem und blauem Licht Grün giebt. Wir haben aber eben bewiesen, dass Blau und Grün complementäre Farben sind, die bei ihrer Mischung Weiss erzeugen. Die Mischung von blauen und gelben Pigmenten erzeugt zweifellos Grün, aber die Mischung von Pigmenten ist eine ganz andere Sache als die Mischung der Spectralfarben.

Helmholtz hat die Ursache aufgedeckt, weshalb durch eine Mischung von blauen und gelben Pigmenten Grün entsteht. Keine natürliche Farbe

ist rein. Eine blaue Flüssigkeit oder ein blaues Pulver lässt nicht nur das Blau hindurchgehen, sondern auch einen Theil des angrenzenden Grün. Ein gelbes Pulver ist nicht nur für das gelbe Licht durchsichtig, sondern auch theilweise für das angrenzende Grün. Sind nun Blau und Gelb gemischt, so schneidet das Blau das Gelb, das Orange und das Roth ab; auf der anderen Seite schneidet das Gelb wieder das Violett, das Indigo und das Blau ab. Grün ist die einzige Farbe, für die beide durchsichtig sind, und die Folge davon ist, dass wenn weisses Licht auf eine Mischung von gelbem und blauem Pulver fällt, das Grün allein zum Auge zurückgeworfen wird. Sie haben schon gesehen, dass das schöne blaue schwefelsaure Kupferammoniak eine grosse Menge Grün durchlässt, während es alles weniger brechbare Licht abschneidet. Die gelbe Lösung von Pikrinsäure lässt das Grün auch hindurch, löscht aber alles brechbarere Licht aus. Was muss geschehen, wenn wir einen Strahl durch beide Flüssigkeiten senden? Die Antwort des Experiments steht vor Ihnen: das grüne Band des Spectrums bleibt allein auf dem Schirm.

Die Unreinheit der natürlichen Farben wird durch eine mir kürzlich von Herrn Woodbury mitgetheilte Beobachtung überraschend erläutert. Als er durch blaues Glas bei Sonnenschein auf grüne Blätter sah, bemerkte er, dass das oberflächlich reflectirte Licht blau sei. Das Licht, das von den dichteren Stellen der Blätter kam, war dagegen purpurfarben. Bei genauerer Beobachtung fand ich, dass das bei dieser Untersuchung benutzte Glas beide Enden des Spectrums durchliess, das rothe sowohl als das blaue, und die Mitte auslöschte. So ergab sich eine einfache Erklärung

für diese Erscheinung. In dem zarten Frühlingslaub wird das Blau zum grössten Theil absorbirt und ein Licht, das hauptsächlich gelblich-grün ist, das aber doch eine grosse Menge Roth enthält, gelangt vom Blatt zum Auge. Sehen wir durch das violette Glas auf solches Laubwerk, so werden Grün und Gelb zurückgehalten und das Roth trifft allein das Auge. So angesehen, erscheinen die Blätter wie schwach erröthende Rosen und bieten einen reizenden Anblick dar. Wir können mit dem blauen Kupferammoniaksulfat, das kein Roth durchlässt, diese Wirkung nicht erzielen.

Wenn das Jahr fortschreitet, verändert sich das Purpurroth allmählich in Kupferfarbe, und in den dunkelgrünen Blättern des alten Epheu ist es gar nicht mehr vorhanden. Lassen wir einen Strahl von weissem Licht auf frische Blätter in einer dunklen Stube fallen, so ist der plötzliche Wechsel von Grün zu Roth und von Roth zurück auf Grün sehr überraschend, wenn das violette Glas abwechselnd eingeführt und fortgezogen wird. Durch dasselbe Glas gesehen, erscheinen im Mai die Wiesen wie in warmem Purpur erglühend. Mit einer Lösung von übermangansaurem Kali, die die Mitte des Spectrums auslöscht, aber die Enden freier durchlässt, als das violette Glas, kann man ebenfalls überraschende Erscheinungen hervorrufen ¹⁾).

¹⁾ Wir haben sowohl in dem Laubwerk als auch in den Blumen überraschende Unterschiede in der Absorption. Die Rothbuche und die grüne Buche z. B. nehmen verschiedene Strahlen auf. Der Baum verdankt sein Wachsthum einigen dieser aufgenommenen Strahlen. Sind die chemischen Strahlen die gleichen in der Rothbuche und in der grünen Buche? Sind in zwei Blumen, wie in der Primel und dem Veilchen, deren Absorptionen, nach ihren Farben zu urtheilen, fast complementär sind, die chemisch wirksamen Strahlen dieselben? Die allgemeine Beziehung der Farbe zur chemischen Wirkung dürfte wohl mit

Die Frage nach den Beziehungen zwischen der Absorption des Lichtes und der Anordnung der Moleküle ist eine der schwierigsten der Physik. Noch sind wir nicht in der Lage, sie zu lösen, aber wir werden die Lösung allmählich finden und inzwischen können wir mit Genugthuung auf das Netz von Beziehungen zurückblicken, das uns unsere Versuche enthüllt haben. Wir haben zuerst im Sonnenlicht ein äusserst zusammengesetztes Agens, welches aus unzähligen verschieden brechbaren Bestandtheilen besteht. Wir finden zweitens die Atome und die Moleküle der Körper mit der Fähigkeit begabt, Sonnenlicht auf die verschiedenste Weise zu sichten und durch diese Sichtung die natürlichen und künstlichen Farben zu erzeugen. Dazu brauchen sie eine Molekularstructur, die der Zusammensetzung des Lichtes selbst entspricht. Dann haben wir drittens das menschliche Auge und Gehirn, die so organisirt sind, dass sie die Menge der so erzeugten Eindrücke aufnehmen und unterscheiden können. Das Licht ist also, wenn es ausgestrahlt wird, zusammengesetzt; um es zu sichten und zu sondern, wie es die Körper in der Natur thun, müssen sie ebenfalls zusammengesetzt sein. Ebenso muss das menschliche Auge und Gehirn, um die so erzeugten Eindrücke in sich aufzunehmen, wenn wir unsere Anschauungen über ihre Thätigkeit¹⁾ auch noch so sehr vereinfachen,

Hülfe der Methode weiter verfolgt werden, durch die Dr. Draper so endgültig die chemische Wirksamkeit der gelben Strahlen bewies.

¹⁾ Young, Helmholtz und Maxwell führen alle Verschiedenheiten der Farbe auf Mischungen der drei Grundfarben in verschiedenen Mengen zurück. Man kann durch das Experiment zeigen, dass durch Roth, Grün und Violett alle anderen Farben des Spectrums erzeugt werden können.

Sir Charles Wheatstone hat unlängst meine Aufmerk-

sehr complicirt sein. — Woher kommt diese dreifache Complication? Wenn nur die Endzwecke, die wir materielle nennen, erreicht werden sollen, so würde ein viel einfacherer Mechanismus genügen. Wir haben aber statt Einfachheit einen Ueberfluss von Beziehungen und „Anpassungen“ —, wie es scheint, zu dem einzigen Zweck, die Gegenstände im Farbenglanz sehen zu können. Möchte es nicht scheinen, als ob die Natur die Absicht hege, uns zu anderen Genüssen zu erziehen, als zu denen,

samkeit auf eine Arbeit von Christian Ernst Wünsch, Leipzig 1792, gelenkt, in der der Verfasser die Ansicht ausspricht, dass es weder fünf noch sieben, sondern nur drei einfache Farben im weissen Licht giebt. Wünsch erzeugt fünf Spectra mit fünf Prismen und fünf kleinen Oeffnungen, und er mischt die Farben zuerst paarweise und dann auf andere Weise und in anderen Verhältnissen. Er erhält das Resultat, dass Roth eine einfache Farbe ist, die nicht zersetzt werden kann; dass Orange aus intensivem Roth und schwachem Grün gemischt ist; dass Gelb eine Mischung von intensivem Roth und intensivem Grün ist; dass Grün eine einfache Farbe ist; dass Blau aus gesättigtem Grün und gesättigtem Violett besteht; Indigo eine Mischung von gesättigtem Violett und schwachem Grün, während Violett eine rein einfache Farbe ist. Auch er findet, dass Gelb und Indigoblau bei ihrer Mischung Weiss geben. Gelb und Hochblau geben ebenfalls Weiss, welches indess einen grünlichen Stich zu haben scheint, während die so gefärbten Pigmente bei ihrer Mischung immer ein mehr oder weniger schönes Grün geben. Wünsch unterscheidet sehr nachdrücklich die Mischung der Farbstoffe von der der Spectralfarben. Wo er von der Erzeugung des Gelb spricht, sagt er: „Ich sage ausdrücklich rothes und grünes Licht, weil ich von Lichtfarben und nicht von Pigmenten rede.“ So fehlerhaft die Theorien von Wünsch auch sein mögen, so scheinen doch seine Experimente im Ganzen präcis und entscheidend zu sein. Ungefähr zehn Jahre später stellte Young Roth, Grün und Violett als die drei Grundfarben auf, deren jede im Stande sei, drei Empfindungen zu erzeugen, von denen jedoch die eine die beiden anderen überwiege. Helmholtz nimmt diese Ansicht an, erläutert und bereichert sie. (Maxwell's Abhandlung über „The Theory of Compound Colours“ ist in den „Philosophical Transactions“ vol. 150, p. 57 publicirt.)

die allein das Essen und Trinken bieten können? Welche Absicht die Natur auch immer hatte, — und es wäre Vermessenheit, über ihre Absichten zu speculiren — jedenfalls sind wir, als die Krone der Schöpfung, befähigt, nicht nur das materiell Nützliche zu geniessen, sondern besitzen auch andere Fähigkeiten von unermesslicher Tragweite, die nur mit dem Schönen und Wahren zu thun haben.

Zweite Vorlesung.

Ursprung physikalischer Theorien. — Wirkung des Vorstellungsvermögens. — Newton und die Emissionstheorie. — Prüfung physikalischer Theorien. — Der Lichtäther. — Wellentheorie des Lichtes. — Thomas Young. — Fresnel und Arago. — Begriff der Wellenbewegung. — Interferenz von Wellen. — Zusammensetzung der Schallwellen. — Analogien zwischen Schall und Licht. — Beispiele der Wellenbewegung. — Interferenz von Schallwellen. — Optische Darstellungen. — Tonhöhe und Farbe. — Wellenlängen des Lichtes und Schwingungsdauern der Aethertheilchen. — Interferenz des Lichtes. — Erscheinungen, die zuerst auf die Undulationstheorie führten. — Boyle und Hooke. — Die Farben dünner Blättchen. — Die Seifenblase. — Newton'sche Ringe. — Theorie der „Anwendungen“. — Die Erklärung der Ringe. — Beseitigung der Theorie. — Diffraction des Lichtes. — Farben durch Diffraction erzeugt. — Farben der Perlmutter.

§. 1. Ursprung und Ziel der physikalischen Theorien.

Wir könnten unsere Versuche über das Licht bis ins Unendliche vervielfältigen und verändern, und sie würden uns beweisen, dass wir eine wunderbare Herrschaft über diese Erscheinungen erlangt haben. Wir würden jedoch nur die Wirkung der Ursache und nicht die Ursache selbst enthüllen. Der menschliche Geist ist aber so geschaffen und gebildet, dass er sich

bei der Betrachtung der Naturerscheinungen nie mit einer bloss äusserlichen Erkenntniss derselben begnügt. Klarheit und Freudigkeit erfüllen ihn, wenn ihm die Principien klar werden, die ihm beweisen, dass die Thatsachen in der Natur organisch zusammenhängen.

Lassen Sie uns demnach fragen, was das Agens ist, das wir erzeugt, reflectirt, gebrochen und analysirt haben.

Bei der Lösung dieser Frage erkennen wir, dass das Leben des experimentirenden Naturforschers ein doppeltes ist. Er lebt in seinem Beruf ein Leben der Sinne und braucht bei seinen Versuchen seine Hände, Augen und Ohren, aber die Frage, die jetzt vor uns liegt, führt ihn über die Grenzen der Sinne hinaus. Er kann die Frage, „Was ist Licht?“, nicht erwägen und noch weniger beantworten, ohne sich in eine Welt zu versetzen, die den Sinnen nicht mehr wahrnehmbar ist und aus der doch nach festem Gesetz alle optischen Erscheinungen hervorgehen. Um sich diese übersinnliche Welt klar zu machen, muss der Geist ein gewisses bildliches Vorstellungsvermögen besitzen. Er muss sich bestimmte Bilder von den Dingen, die jene Welt enthält, entwerfen können, und muss sagen können, dass wenn ein solcher Zustand der Dinge in jener übersinnlichen Welt bestehe, die Erscheinungen unserer sinnlichen Welt nothwendigerweise aus jenem Zustande der Dinge hervorgehen müssen. So entstehen physikalische Theorien, deren Wahrheit sich darauf begründet, dass sie das Bekannte zu erklären und das Unbekannte vorherzusagen vermögen.

Diese Conception einer physikalischen Theorie bedingt also, wie Sie sehen, eine Anstrengung der Phantasie — ein Wort, bei dem so viele urtheilsfähige Leute sowohl in als ausser den Reihen der Wissenschaft sich unbe-

haglich fühlen. Dass Gelehrte so empfinden können, ist wohl nur ein Beweis, dass sie sich von der volksthümlichen Deutung dieser hohen Begabung haben irreführen lassen, statt deren Einfluss auf ihr eigenes Denken zu prüfen. Ohne Phantasie können wir keinen Schritt jenseits der Grenze der rein animalischen Welt thun, ja selbst kaum bis zu ihrer Grenze. Wenn ich so von der Phantasie spreche, so meine ich damit nicht jene zügellose Kraft, die willkürlich mit den Thatsachen umspringt, sondern eine gut geregelte und geschulte Begabung, deren einzige Aufgabe es ist, solche Begriffe zu bilden, wie sie der intelligente Geist gebieterisch verlangt. Eine Phantasie, die so arbeitet, löst sich eigentlich nie von der Welt der Thatsachen. Diese Welt ist die Vorrathskammer, aus der sie alle ihre Bilder entnimmt, und der Zauber ihrer Kunst besteht nicht darin, dass sie Dinge neu schafft, sondern dass sie die Grösse, die Lage, die Anordnung und die anderen Beziehungen der sinnlichen Dinge so ändert, dass sie den Forderungen des Geistes in der übersinnlichen Welt entsprechen ¹⁾.

¹⁾ Folgende interessante Notiz, die sich hierauf bezieht, wurde von meinem tief betrauten Freund Dr. Bence Jones, früher Ehrensecretair der Royal Institution, gefunden und für mich abgeschrieben. „Für jede Classe von Gebilden giebt es eine bestimmte Art der Messung, der unsere Sinne angepasst sind und deren Erkenntniss der Menschheit vom grössten Nutzen ist. Dies ist die Grundlage der Philosophie; denn obgleich alle Arten, in der sie zur Wahrnehmung gelangen können, gleichmässig das Object der philosophischen Speculation sind, so muss doch der Philosoph von denjenigen, die den Sinnen entsprechen, bei seinen Fragen ausgehen und nachher auf- oder absteigen, wie seine Folgerungen es verlangen. Er thut wohl daran, wenn er von verschiedenen Gesichtspunkten ausgeht und die Mängel der Sinne durch eine gut geschulte Phantasie ergänzt; auch darf er sich nicht irgendwie durch Raum oder Zeit beschränken lassen, sondern er muss, da seine Kenntniss der Natur sich auf

Descartes dachte sich den Raum mit einem Agens erfüllt, das das Licht momentan durchliess. Zunächst, weil man nach seiner Erfahrung von keiner messbaren Zeit wusste zwischen dem Aufleuchten eines noch so entfernten Lichtes und dessen Wirkung auf das Bewusstsein, und zweitens, weil, so weit seine Erfahrung reichte, keine physikalische Energie ohne einen Träger von Ort zu Ort fortgepflanzt wird. Seine Phantasie aber half sich mit Vorstellungen, die der wirklichen Welt entnommen waren. ' „Wenn man“, sagte er, „mit einem Stab in der Hand im Dunklen geht und das Ende des Stabes auf ein Hinderniss stösst, so fühlt es die Hand in demselben Augenblicke. Dies erklärt, was uns sonst sonderbar erscheinen könnte, dass das Licht der Sonne uns momentan erreicht. Ich möchte, dass Du es glaubst, dass das Licht in den Körpern, die wir leuchtende nennen, nichts weiter als eine sehr schnelle und heftige Bewegung ist, die vermittelt der Luft und anderer durchsichtiger Medien ebenso zum Auge fortgepflanzt wird, wie der Stoss durch den Stock die Hand eines blinden Mannes erreicht. Es geschieht momentan, und würde auch momentan geschehen, wenn die zwischenliegende Entfernung noch grösser wäre, als die zwischen Himmel und Erde. Es ist demnach ebenso wenig nöthig, dass irgend etwas Materielles von dem leuchtenden Körper das Auge erreicht, als dass Etwas von der Erde zu der Hand des blinden Mannes gesandt wird, wenn

die Beobachtung sinnlicher Gegenstände gründet, mit diesen anfangen und öfter zu ihnen zurückkehren, um an ihnen seinen Fortschritt zu ermessen. Hier hat er einen festen Anhaltspunkt; und wie er von diesem ausgeht, so muss er gleichfalls seine Schritte oft wieder vorsichtig rückwärts lenken, sonst steht er in Gefahr, seinen Weg in den Labyrinthen der Natur zu verlieren.“ (Maclaurin: An Account of Sir J. Newton's Philosophical Discoveries. Written 1728; second edition, 1750; pp. 18, 19.)

er den Stoss seines Stabes fühlt.“ Der berühmte Robert Hooke zweifelte zuerst an dieser Anschauung von Descartes, nahm sie aber später als richtig an. Der Glaube an eine momentane Uebertragung wurde durch die in unserer letzten Vorlesung erwähnte Entdeckung Roemer's erschüttert.

§. 2. Die Emissionstheorie des Lichtes.

Newton's Verhalten beweist uns noch viel klarer den Satz, dass wir bei der Entwicklung physikalischer Theorien unser Material der Welt der Thatsachen entnehmen. Ehe er sich mit dem Licht beschäftigte, kannte er die Gesetze des elastischen Stosses, die Sie Alle mehr oder weniger vollkommen beim Billardspiel beobachtet haben werden, auf das Genaueste. Newton wusste, dass bei dem Zusammenstoss elastischer Massen der Einfallswinkel gleich dem Reflexionswinkel sei, und er wusste auch, dass der Versuch, wie wir ihn in der letzten Vorlesung (Fig. 3) gezeigt haben, dasselbe Gesetz für das Licht bestätigte. So fand er in seinem vorherigen Wissen den Stoff zu theoretischen Bildern. Er brauchte nur die Vorstellungen, die er sich schon in seinem Geiste gebildet hatte, zu erweitern, um zur Emissionstheorie des Lichtes zu gelangen. Newton nahm an, dass das Licht aus elastischen Theilchen von fast undenkbarer Kleinheit bestände, die mit undenkbarer Geschwindigkeit von den leuchtenden Körpern fortgeschossen würden. Die optische Reflexion findet wirklich so statt, als ob das Licht aus solchen Partikeln bestände, und dies war Newton's Rechtfertigung für die Annahme ihrer Existenz.

Aber dies ist noch nicht Alles. Auch in einem andern wichtigen Punkte wurden Newton's Vorstellungen über

die Natur des Lichtes durch sein vorheriges Wissen beeinflusst. Er hatte viel über die Erscheinungen der Gravitation gegrübelt und sich mit der Wirkung dieser universellen Kraft genau vertraut gemacht. Vielleicht beschäftigten diese Vorstellungen seinen Geist zu dieser Zeit noch zu lebhaft, als dass er sich ein unbefangenes Urtheil über die Natur des Lichtes hätte bilden können. Aber wie dem auch sein mag, Newton sah in der Brechung des Lichtes die Wirkung einer auf die Lichtpartikel ausgeübten anziehenden Kraft. Er führte diese Anschauung mit der strengsten Consequenz durch. Wenn ein Körper in verticaler Richtung gegen die Oberfläche der Erde fällt, so wird seine Bewegung mit der Annäherung an die Erde beschleunigt. Treffen die Lichtpartikel auf dieselbe Weise auf eine horizontale Ebene, etwa aus Luft auf Glas oder Wasser, so würde ihre Geschwindigkeit, wenn sie dicht an die Oberfläche kommen, nach Newton auf dieselbe Weise beschleunigt. Nähern sie sich aber einer solchen Oberfläche in schräger Richtung, so nahm er an, dass, wenn die Theilchen ihr nahe kämen, sie ebenso zu ihr hingezogen würden, wie ein Geschoss durch die Schwerkraft zu der Oberfläche der Erde hin abgelenkt wird. Diese Ablenkung war, nach Newton, die in unserer letzten Vorlesung (Fig. 4) beobachtete Brechung. Endlich nahm er an, dass Verschiedenheiten der Farbe von Verschiedenheiten der „Grösse“ der Theilchen herühren könnten. So lautete die physikalische Theorie des Lichtes, wie sie von Newton aufgestellt und vertheidigt wurde, und Sie werden begreifen, dass sie nur in einer Uebertragung der Vorstellungen der sinnlichen Welt in eine übersinnliche besteht.

Aber obgleich das Gebiet der physikalischen Theorie jenseits der Welt der Sinne liegt, so muss doch die

Wahrheit der Theorie in dieser Welt geprüft werden. Nehmen wir die theoretische Vorstellung als Grundlage an, so müssen wir durch strenge Deduction bestimmen, welches die Phänomene sind, die sich nothwendig aus ihr entwickeln. Stimmen die so abgeleiteten Erscheinungen mit den wirklich beobachteten überein, so wächst die Wahrscheinlichkeit der Theorie. Findet sich, dass, wenn neue Gruppen von Phänomenen entdeckt werden, auch diese mit der Theorie übereinstimmen, so wird sie noch wahrscheinlicher. Verleiht endlich die Theorie dem Forscher einen prophetischen Blick, so dass er Phänomene vorhersagt, die noch nie beobachtet worden sind, und erweisen sich diese Vorhersagungen durch den Versuch als vollkommen richtig, so wird die Ueberzeugung von der Wahrheit der Theorie überwältigend.

So erreicht der menschliche Geist, indem er von einer begrenzten Anzahl Erscheinungen rückwärts schliesst, durch seine eigene verallgemeinernde Kraft eine Anschauung, die alle Erscheinungen in sich schliesst. Es giebt wohl keine wunderbarere Thätigkeit des Geistes, als diese, von der wir aber keine Rechenschaft geben können. Man kann von ihr ebensowenig sagen, woher sie kommt, wie von dem heiligen Geist in der Schrift. Der Schritt von der Thatsache zur Erkenntniss des Principes ist manchmal langsam, manchmal rasch, aber stets ist er eine Quelle geistiger Freude. Ist er rasch, so concentrirt sich die Freude und wird eine Art von Ekstase oder Rausch. Jedem, der dies Glück, wenn auch in geringem Maasse, empfunden hat, wird die That des Archimedes, der das Bad verliess und mit dem Ruf „Eureka!“ unbekleidet durch die Strassen von Syrakus lief, erklärlich werden.

Wie stand es nun mit der Emissionstheorie, als die aus ihr gezogenen Schlüsse mit den Erscheinungen in der Natur verglichen wurden? Man fand, als sie durch den Versuch geprüft wurde, dass sie manche Erscheinungen erklärte, und ihr Schöpfer suchte sogar mit genialem Scharfsinn alle optischen Erscheinungen daraus abzuleiten. Er erreichte sogar, dass hoch berühmte Gelehrte wie Laplace und Malus, die bis 1812 lebten, und Biot und Brewster, die noch unsere Zeitgenossen waren, zu seinen Anhängern gehörten.

§. 3. Die Undulationstheorie des Lichtes.

Indess schon unmittelbar nach der Aufstellung der Emissionstheorie nahmen ein oder zwei bedeutende Gelehrte eine andere Theorie an; sie geben ein neues Beispiel für das Gesetz, dass, wenn man Theorien aufstellt, die wissenschaftliche Phantasie ihr Material aus der Welt der Thatsachen und der Erfahrung entnehmen muss. Man wusste längst, dass der Schall in Wellen oder Stößen durch die Luft fortgepflanzt wird, und so wie der Geist sich mit dieser Wahrheit vertraut gemacht hatte, wurde sie die Grundlage einer theoretischen Vorstellung. Man nahm an, dass das Licht, wie der Schall, auch die Folge einer Wellenbewegung sein könnte. Was aber konnte in diesem Fall die Wellen bilden? Für die Schallwellen haben wir die Luft unserer Atmosphäre; aber die Vorstellung, welche den ganzen Weltraum mit einem Lichtäther erfüllte, der in den Lichtwellen erzitterte, war zu kühn, als dass nicht ängstliche Gemüther sich davor entsetzt hätten. In einer meiner letzten Unterredungen mit Sir David Brewster

sagte er mir, dass sein Haupteinwurf gegen die Undulationstheorie der sei, dass er sich nicht denken könne, der Schöpfer habe sich eines so rohen Auskunftsmittels bedient, den Raum mit Aether zu füllen, um dadurch Licht zu erzeugen. Es ist dies ein sehr gefährliches Argument; und der wissenschaftliche Streit mit Sir David über diese Frage, wie der Streit mit vielen anderen bedeutenden Menschen über ähnliche Fragen schreibt sich nur daher, dass sie meinen, zu viel von den Absichten des Schöpfers zu wissen.

Die Vorstellung von einem Lichtäther wurde von dem berühmten Astronomen Huygens angenommen und auch auf verschiedene optische Erscheinungen mit Erfolg angewandt. Er leitete aus dem Lichtäther die Gesetze der Reflexion und der Brechung ab und benutzte ihn, um die doppelte Brechung des Kalkspaths zu erklären. Die Theorie wurde von dem berühmten Mathematiker Euler angenommen und vertheidigt. Newton trat indess dagegen auf, und seine Autorität liess sie damals nicht aufkommen. Sollen wir sagen, es sei seine Autorität allein gewesen? Nicht so ganz. Newton's Ueberlegenheit war zum Theil durch die Thatsache begründet, dass, obgleich Huygens und Euler in der Hauptsache im Recht waren, sie doch nicht genügende Data besaßen, um zu beweisen, dass sie Recht hätten. Keine menschliche Autorität, und wenn sie auch noch so hoch dasteht, kann sich gegen die Stimme der Natur, die durch den Versuch spricht, behaupten. Die Stimme der Natur kann aber aus Mangel an Beweisen eine unsichere Stimme sein. Und da dies in dem eben besprochenen Zeitraum der Fall war, so mussten in dieser Zeit natürlich alle Gegner der Autorität Newton's unterliegen.

Der Gedankengang ist rhythmisch, nicht gleichförmig und diese grosse Emissionstheorie, welche so lange zu Recht bestand, glich einem von jenen Kreisen, die nach dem Ausspruch Emerson's die intermittirende Gewalt des Genies periodisch um die Arbeiten des Geistes zieht, die aber doch zuletzt durch allmählichen Druck glücklich durchbrochen werden. Im Jahre 1773 wurde in Milveston in Somersetshire der Mann geboren, der auf diese Weise den Kreis durchbrach. Er wurde für den ärztlichen Beruf erzogen, war aber geistig zu angeregt, um sich durch seine Berufsthätigkeit beschränken zu lassen. Er widmete sich dem Studium der Naturwissenschaften und beherrschte alle ihre Gebiete. Er war auch ein Meister in den philologischen Wissenschaften. Er beherrschte alte und neue Sprachen und, um mit den Worten seiner Grabschrift zu reden, „er durchdrang zuerst die Finsterniss, die seit Jahrhunderten die Hieroglyphen Aegyptens verhüllte.“ Es fiel diesem Manne das Loos zu, optische Thatsachen zu entdecken, für deren Erklärung Newton's Theorie nicht ausreichte, und sein Geist suchte nun überall nach einer genügenden Theorie. Er war mit allen Erscheinungen der Wellenbewegung, mit allen Erscheinungen des Schalls vertraut und arbeitete auf diesem Gebiete als selbständiger Forscher mit grossem Erfolg. So vorgebildet und geschult, war es ihm auch möglich, die leiseste Aehnlichkeit, die sich zwischen den Erscheinungen des Lichtes und denen der Wellenbewegung verrieth, zu bemerken. Und er beobachtete solche Aehnlichkeiten; durch diese Entdeckung angefeuert, setzte er seine Speculationen und seine Versuche fort, bis es ihm endlich gelang, die Undulationstheorie des Lichtes in sicherer Weise zu begründen.

Der Gründer dieser grossen Theorie war Thomas Young, ein Mann, dessen Name Vielen unter Ihnen vielleicht fremd ist, der Ihnen Allen aber bekannt sein sollte. Erlauben Sie mir, Ihnen durch eine geometrische Construction, die ich schon einmal in London anzuwenden wagte, einen Begriff von der Grösse dieses Mannes zu geben. Newton stehe aufrecht in seiner Zeit und Young in der seinigen; ziehen Sie eine gerade Linie von Newton zu Young, die die Häupter der beiden Männer berührt. Die Linie würde sich von Newton nach Young zu etwas senken, denn Newton war sicherlich der Grössere von beiden. Aber die Neigung würde nur schwach sein, denn der Unterschied der Grösse war nicht bedeutend. Die Linie würde, was die Ingenieure eine kleine Steigung nennen, von Young nach Newton bilden. Stellen Sie unter diese Linie den grössten Gelehrten, der in der Zwischenzeit zwischen diesen Männern geboren worden ist. Es ist zu bezweifeln, ob er die Linie berühren könnte, denn wenn er es könnte, so stände er geistig höher, als Young, und es existirte kein grösserer Gelehrter als er. Ich verlange nicht, dass Sie sich bei der Würdigung von Young auf die Engländer verlassen sollen; der Deutsche Helmholtz, ein ihm verwandter Genius, spricht sich folgendermassen über ihn aus: „Er war einer der scharfsinnigsten Männer, die je gelebt haben, hatte aber das Unglück, seinen Zeitgenossen an Scharfsinn weit überlegen zu sein. Sie staunten ihn an, aber sie konnten dem kühnen Fluge seiner Combinationen nicht überall folgen, und so blieb eine Fülle seiner wichtigsten Gedanken in den grossen Folianten der königlichen Gesellschaft von London vergraben und vergessen, bis eine spätere Generation im langsamen Fortschritte seine Entdeckungen wieder entdeckte und sich

von der Richtigkeit und Beweiskraft seiner Schlüsse überzeugte.“

Es ist ganz richtig, wie Helmholtz sagt, Young war seiner Zeit voraus; aber ich muss hier doch noch bemerken, wie gross die Verantwortlichkeit unserer Zeitungsschreiber ist. Zwanzig Jahre lang wurden die Leistungen dieses genialen Mannes unterdrückt und er selbst für einen Träumer gehalten, und dies nur in Folge des leidenschaftlichen Sarkasmus eines Schriftstellers, der damals das Ohr des Publicums besass und der in der „Edinburgh Review“ Young und seine Speculationen lächerlich machte. Young verdankte erst den berühmten Franzosen Fresnel und Arago seine endliche Anerkennung, denn diese, besonders Fresnel, wiederholten unabhängig von ihm seine Entdeckungen und vermehrten sie bedeutend. Young war denjenigen, die sich mit dem Studium seiner Werke beschäftigten, längst in seinem wahren Licht erschienen, aber diese zwanzig leeren Jahre machten, dass das Publicum ihn vergass, da es von dem Ruhm Davy's, Young's Collegen an der Royal Institution, und nachher von dem Ruhm Faraday's erfüllt war. Carlyle erwähnt eine Bemerkung von Novalis, dass sich das Selbstvertrauen eines Mannes unverhältnissmässig von dem Moment an steigert, wo andere an ihn glauben. Trifft die umgekehrte Ansicht auch zu — ist es wahr, dass der Unglaube des Publicums die Kraft eines Mannes schwächt — wie unberechenbar wäre da der Schaden, den diese zwanzig Jahre der Vergessenheit, der Productivität Young's als Forscher gethan haben mögen. Bemerken müssen wir noch, dass sein Widersacher, Mr. Henry Brougham, nachheriger Lord Kanzler von England war.

§. 4. Wellenbewegung, Interferenz der Wellen,
„Whirlpool rapids“ des Niagara.

Unsere schwierigste Aufgabe liegt noch vor uns. Da aber die Möglichkeit, eine schwere Arbeit zu leisten, zum grossen Theil vom guten Willen abhängt, so möchte ich Sie bitten, sich mit Freude auf unsere kommende Arbeit vorzubereiten.

Wir finden in den frühesten Aufzeichnungen der Alten die Ansicht ausgesprochen, dass der Schall durch die Luft fortgepflanzt werde. Aristoteles spricht diese Ansicht aus, und der grosse Architekt Vitruv vergleicht die Schallwellen mit den Wasserwellen. Der eigentliche Mechanismus der Wellenbewegung war jedoch den Alten verborgen und wurde erst zu Newton's Zeit vollständig enthüllt. Die Hauptschwierigkeit lag in der Unterscheidung der Bewegung der Welle selbst und der Bewegung der Theilchen, die in jedem Augenblick die Welle bilden.

Stellen Sie sich an den Meeresstrand und beobachten Sie die heranrollenden Wellen, ehe sie durch die Reibung an dem Boden verzerrt werden. Jede Welle hat eine Rück- und Vorderseite, und wenn Sie recht deutlich das Bild der rollenden Welle erfassen, so werden Sie sehen, dass jedes Wassertheilchen an der Vorderseite der Welle aufsteigt, während jedes an der Rückseite abwärts sinkt. Die Theilchen der Vorderseite erreichen nach einander den Kamm der Welle und beginnen abwärts zu fallen, sowie sie drüber hinaus sind. Sie erreichen dann das Wellenthal und können nicht tiefer sinken. Gleich nachher werden sie wieder zur Vorderseite der folgenden Welle, steigen wieder bis zum Wellenberg und sinken wie vorher. So werden die einzelnen

Theilchen, während die Welle horizontal weiter rollt, nur einfach vertical auf- und abbewegt. Beobachten Sie eine schwimmende Möwe oder, wenn Sie selbst schwimmen können, überlassen Sie sich dem Spiel der Wellen, Sie werden nicht weitergetragen, sondern nur auf- und abgewiegt. Die Fortpflanzung einer Welle ist die Fortpflanzung einer Form, und nicht die Fortführung der Substanz, aus der die Welle besteht.

Die Länge der Welle ist die Entfernung von einem Berg zum andern, während man die Strecke, durch die jedes einzelne Theilchen hin und her schwingt, die Schwingungsweite nennt. Ich bitte Sie bei dieser Beschreibung zu beachten, dass die Wassertheilchen senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung (transversal) schwingen ¹⁾.

Wir müssen jetzt einen Schritt vorwärts gehen, den wichtigsten Schritt. Sie können sich zwei Wellenreihen denken, die von verschiedenen Quellen aus, sich durch dasselbe Wasser bewegen. Wenn Sie z. B. zwei Steine in ruhiges Wasser werfen, so durchschneiden sich die Wellenringe, die von den beiden Mittelpunkten der Störung ausgehen. Nun ist es gleichgültig, wie viele dieser Wellen vorhanden sind, das Gesetz bleibt bestehen, dass die Bewegung jedes einzelnen Wassertheilchens die algebraische Summe aller ihm mitgetheilten Bewegungen ist. Wenn der Berg mit dem Berg und das Thal mit dem Thal zusammenfällt, so wird die Welle zur doppelten Höhe über ihre tiefste Stelle erhoben; fällt aber das Thal mit dem Berg zusammen, so sind

¹⁾ Ich will hier nicht das Verständniss mit den Details der Bewegung erschweren, aber ich möchte die Aufmerksamkeit auf das schöne Modell von Prof. Lyman lenken, welches nachweist, dass die Wellen durch die kreisförmige Bewegung der Theilchen erzeugt werden. Diese ist, wie die Brüder Weber bewiesen haben, die eigentliche, wahre Bewegung der Wasserwellen.

die Bewegungen entgegengesetzt und ihre Summe ist Null. Dann haben wir ruhiges Wasser. Dieser Einfluss von der Welle auf die Welle wird Interferenz genannt, ein Ausdruck, den man behalten muss.

Es kann für das Auge derjenigen, die mit diesen Gesetzen vertraut sind, nichts Interessanteres als die Kreuzung der Wasserwellen geben. Durch ihre Interferenz wird die Oberfläche des Wassers oft in das schönste Mosaik zerlegt, das rhythmisch erzittert, wie sichtbare Musik. Werden Wellen geschickt in einer mit Quecksilber gefüllten Schale erzeugt, so zeigt uns ein helles Licht, das auf die leuchtende Oberfläche geworfen und von dort auf einen Schirm reflectirt wird, die Bewegungen des flüssigen Metalls. Die Form der Schale bestimmt die Formen der erzeugten Figuren. In einem runden Gefässe z. B. pflanzt sich eine Störung im Mittelpunkt als eine Reihe kreisförmiger Wellen fort, die nach der Reflexion am Rande wieder im Centrum zusammentreffen. Liegt der Störungspunkt etwas seitlich vom Centrum, so erzeugt die Interferenz der directen und reflectirten Wellen ein prachtvolles Durcheinanderfliessen wie in der beigefügten Figur 10, a. f. S.¹⁾. Das von einer solchen Oberfläche zurückgeworfene Licht giebt ein Bild von ausserordentlicher Schönheit. Wird das Quecksilber von einer Nadelspitze in einer der Oberfläche des Gefässes concentrischen Linie leicht berührt, so verlaufen die Lichtlinien in einem labyrinthischen Netzwerk, indem sie sich in wunderbarer Weise durcheinander schlingen und wieder von einander ablösen. Ist das Gefäss viereckig, so entsteht durch das Kreuzen der directen und reflectirten Wellen ein pracht-

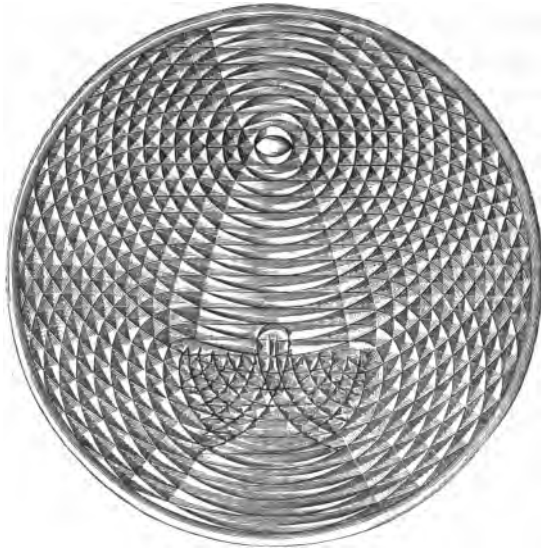
¹⁾ Weber's Wellenlehre entnommen.

volles Tafelwerk, So geben bei der Wellenbewegung die einfachsten Ursachen wunderbar schöne Wirkungen. Die Worte Emerson's passen ausgezeichnet hierher:

„Thou can 'st not wave thy staff in 'the air,
Or dip thy paddle in the lake;
But it carves the brow of beauty there,
And the ripples in rhymes the oars forsake.“

Die klarste Vorstellung von der Wirkung der Wellen auf Wellen, die ich je beobachtet habe, erhält man nahe

Fig. 10.



beim Niagarafall. Auf eine Entfernung von ungefähr zwei engl. Meilen unterhalb der Fälle fließt der Niagara ruhig durch seine ausgewaschene Schlucht. Allmählich verengt sich dann das Bett und das Wasser beschleunigt naturgemäss seine Bewegung. An den sogenannten „Whirlpool Rapids“ schätzte ich die Breite des Flusses auf 300 Fuss, eine Annahme, die mir die dortigen Be-

wohner bestätigten. Bedenkt man, dass der Wasserablauf von fast einem halben Continent in diesen Raum zusammengepresst ist, so kann man sich ein Bild von der ungestümen Gewalt entwerfen, mit der der Fluss aus dieser Schlucht ausströmt.

Zwei Bewegungsarten sind hier unleugbar thätig, eine fortführende und eine wellenförmige — der schnelle Strom des Flusses durch die Schlucht und die grossen Wellen, die durch seine Berührung mit den in seinem Wege liegenden Hindernissen entstehen. Der Sturz und das Hin- und Herschleudern des Wassers ist in der Mitte des Stromes am heftigsten; jedenfalls tritt hier die gewaltige Kraft der einzelnen Wellen am klarsten hervor. Grosse pyramidale Massen springen unaufhörlich vom Wasser auf, einige mit solcher Macht, dass sie ihre Spitzen in die Luft werfen, in der sie als Bündel von flüssigen Perlen schweben, die, wenn die Sonne sie bescheint, in unsagbarer Schönheit erglänzen.

Der erste Eindruck und in der That auch die landläufige Erklärung dieser Schnellen ist, dass das mittlere Bett des Flusses mit grossen Steinmassen erfüllt und das Stossen, Schleudern und wilde Aufspritzen des Wassers daselbst dem Anprall gegen diese Hindernisse zuzuschreiben sei. Ich fand an der Stelle selbst eine ganz andere Erklärung für diese Erscheinung. Steinmassen von den angrenzenden Felsen lagern sichtlich an den Ufern des Flusses. An diesen steigt und sinkt das Wasser rhythmisch und heftig auf und ab, und es werden grosse Wellen erzeugt. Bei der Erzeugung jeder Welle tritt sogleich eine Vereinigung der Wellenbewegung mit der Bewegung des Flusses ein. Die Kämme, die sich in ruhigem Wasser in kreisförmigen Curven um den Mittelpunkt der Störung ziehen würden, schneiden den Fluss

in schrägen Linien und die Folge ist, dass sich in der Mitte Wellen vermischen, die thatsächlich an den Seiten erzeugt worden sind. Dieses Kreuzen der Wellen kann man in kleinem Maassstabe in jeder Rinne nach dem Regen sehen; man kann es auch sehen, wenn man Wasser aus einem Krug mit weiter Oeffnung ausgiesst. Wo Berg und Thal sich kreuzen, wird die Welle vernichtet; wo Thal und Thal sich kreuzen, wird der Fluss tiefer aufgewühlt, und wo Berg und Berg sich unterstützen, sehen wir den überraschenden Sprung des Wassers, der die Cohäsion der Berge bricht und sie zersprengt in die Lüfte schleudert. Die bei den Whirlpool Rapids beobachtete Erscheinung giebt eins der grossartigsten Beispiele für das Interferenzgesetz.

§. 5. Analogie von Schall und Licht.

Die fundamentale Entdeckung von Thomas Young auf dem Gebiet der Optik war, dass das Gesetz der Interferenz auch auf das Licht anzuwenden sei. Lange vor seiner Zeit hatte ein italienischer Naturforscher, Grimaldi, gefunden, dass zwei schmale Lichtstrahlen, wenn sie einzeln wirkten, einen leuchtenden Fleck auf der Wand erzeugten, wenn sie aber unter gewissen Bedingungen vereint wirkten, sich gegenseitig auslöschten und den Fleck verdunkelten. Dies war eine Beobachtung von fundamentaler Bedeutung, es bedurfte aber der Entdeckungen und des Genies von Young, um für sie eine Erklärung zu finden. Der Gang seiner Forschungen wird Ihnen allmählich klar werden. Sie wissen, dass man Luft zusammenpressen kann; dass sie durch Druck verdichtet und durch Ausdehnung verdünnt werden kann: Schlagen wir eine Stimmgabel an, so kann ihr Ton von

Ihnen Allen gehört werden, und viele von Ihnen wissen, dass die Luft, durch die der Schall geht, in Räume getheilt ist, in denen die Luft verdichtet ist, denen wieder Räume folgen, in denen die Luft verdünnt ist. Diese Verdichtungen und Verdünnungen bilden die Schallwellen. Sie können sich denken, dass die Luft eines Zimmers von einer Reihe solcher Wellen durchsetzt wird, und Sie können sich denken, dass eine zweite Reihe durch dieselbe Luft hindurchgeht und in einem solchen Verhältniss zu der ersten steht, dass Verdichtung mit Verdichtung und Verdünnung mit Verdünnung zusammenfällt. Als Folge eines solchen Zusammenfallens würde ein lauterer Schall entstehen, als der, den jedes einzelne dieser Wellensysteme erzeugte. Aber Sie können sich auch einen Zustand denken, wo die Verdichtungen des einen Systems auf die Verdünnungen des andern fallen. In diesem Fall würde sich (wenn die andern Bedingungen die gleichen wären) die beiden Systeme vollkommen neutralisiren. Jedes System für sich genommen, erzeugt Schall; beide zusammen erzeugen keinen Schall. So erzeugen wir also Stillschweigen, wenn wir Schall zu Schall addiren, wie Grimaldi bei seinen Versuchen Finsterniss erzeugte, als er Licht zu Licht addirte.

Young wurde durch seine erfolgreichen und eingehenden Untersuchungen des Schalls auf die Erforschung des Lichtes geführt. Er erklärte die Beobachtungen Grimaldi's und führte sie noch sehr viel weiter aus. Er wandte mit glänzendem Erfolg die Wellentheorie für die Erklärung der Farben von dünnen Platten und der Farben von gestreiften Oberflächen an. Er entdeckte und erklärte Gruppen von Farben, die früher unbeachtet und unbekannt geblieben waren. Durch die Annahme, dass das Licht eine Wellenbewegung sei,

wurden alle seine Versuche über Interferenz erklärt; durch die Annahme, dass das Licht aus fliegenden Theilchen bestände, wurde nichts erklärt. Zur Zeit von Huygens und Euler wurde ein Medium für den Durchgang der Lichtwellen angenommen; Newton erhob indess den Einwand, dass, wenn das Licht aus Wellen eines solchen Mediums bestände, keine Schatten existiren könnten. Die Wellen, behauptete er ferner, würden sich um die undurchsichtigen Körper beugen und eine Bewegung des Lichtes hinter ihnen erzeugen, wie der Schall um eine Ecke geht oder wie die Wellen des Wassers einen Felsen umspülen. Es ist bewiesen worden, dass die Beugung des Lichtes, von der Newton spricht, wirklich eintritt, dass aber die gebeugten Wellen sich durch ihre gegenseitige Interferenz vernichten. Young fand auch einen fundamentalen Unterschied zwischen den Licht- und Schallwellen. Könnten Sie die Luft sehen, durch welche Schallwellen hindurchgehen, so würden Sie beobachten, wie jedes einzelne Lufttheilchen in der Richtung der Fortpflanzung hin und her schwingt. Könnten Sie den Lichtäther sehen, so würden Sie ebenfalls finden, dass jedes einzelne Theilchen eine kleine Ausschwingung hin und her macht, hier aber würde die Bewegung, wie oben bei den Theilchen der Wasserwellen, auf der Fortpflanzungsrichtung senkrecht stehen. Die Luftschwingungen sind longitudinal, die Aetherschwingungen transversal.

Das bekannteste Beispiel der Interferenz der Schallwellen sind die Stösse, die durch zwei musikalische Töne, welche nicht ganz mit einander übereinstimmen, erzeugt werden. Werden zwei vollkommen übereinstimmende Stimmgabeln zu gleicher Zeit angeschlagen, so erklingen die beiden Töne gleichförmig, als wären

sie nur ein Ton. Befestigen wir aber an der einen Gabel durch Wachs ein kleines Gewicht, so zwingen wir sie, langsamer als ihre Nachbarin zu schwingen. Wir wollen annehmen, dass die eine von ihnen 101 Schwingungen in der Zeit macht, die die andere braucht, um 100 zu machen, und voraussetzen, dass beim Beginn die Verdichtungen und Verdünnungen beider Gabeln vollständig zusammenfallen. Bei der 101sten Schwingung der schnellsten Gabel werden sie wieder zusammenfallen; diese Gabel hat dann eine ganze Schwingung oder eine ganze Wellenlänge vor der anderen voraus. Ein wenig Nachdenken wird es Ihnen klar machen, dass bei der 50sten Schwingung die beiden Gabeln einander entgegenwirken; hier sucht die eine eine Verdichtung, die andere eine Verdünnung zu erzeugen; daher wird bei der vereinten Wirkung der beiden Gabeln der Schall vernichtet und wir haben eine Pause. Es tritt dies da ein, wo die eine Gabel der andern um eine halbe Wellenlänge voraus ist. Bei der 101sten Schwingung haben wir, wie schon bemerkt, Coincidenz und daher verstärkten Schall; bei der 150sten Schwingung wird der Schall wieder vernichtet. Hier ist die eine Gabel der andern um drei halbe Wellenlängen voraus. Die Wellen fallen zusammen, wenn die eine Reihe eine gerade Zahl von halben Wellenlängen, und zerstören sich, wenn die eine eine ungerade Zahl von halben Wellenlängen der andern voraus ist. Mit zwei so eingerichteten Gabeln erhalten wir diese intermittirenden Verstärkungen, die durch Zeiten des Schweigens getrennt werden, denen wir den Namen Stösse geben. Durch eine entsprechende Einrichtung können wir es überdies dahin bringen, dass der eine Ton den andern gänzlich vernichtet. In vier bestimmten Linien vernichten sich z. B. gegen-

seitig die Schwingungen der beiden Zinken der Stimmgabeln ¹⁾).

Die Tonhöhe wird allein durch die Zahl der Schwingungen in der Zeiteinheit bestimmt, wie es die Intensität durch ihre Amplitude wird.

Das, was die Tonhöhe für das Ohr in der Akustik ist, ist die Farbe für das Auge in der Undulationstheorie des Lichtes. Obgleich man die Lichtwellen nie gesehen, so hat man doch ihre Länge bestimmt. Ihre Existenz wird durch ihre Wirkungen bewiesen, und aus ihren Wirkungen lassen sich auch ihre Längen mit Genauigkeit ableiten. Eine solche Bestimmung kann auf verschiedenen Wegen ausgeführt werden. Vergleicht man die verschiedenen Bestimmungen mit einander, so zeigt sich eine vollständige Uebereinstimmung zwischen denselben. Diese Uebereinstimmung ist eine der Hauptstützen der Undulationstheorie. Die kürzesten Wellen im sichtbaren Spectrum entsprechen dem äussersten Violett; die längsten dem äussersten Roth; die anderen Farben haben „Tonhöhen“ oder Wellenlängen, die zwischen diesen liegen. Die Länge einer Welle des äussersten Roth ist so gross, dass 39 000 Wellen, unmittelbar mit ihren Enden an einander gelegt, die Länge eines Zolles einnehmen würden, während für das Violett dasselbe bei 64 631 Wellen der Fall sein würde.

Die Geschwindigkeit des Lichtes beträgt in runden Zahlen 42 000 deutsche Meilen in der Secunde. Drücken wir diese in Zollen aus und multipliciren die so gefundene Zahl mit 39 000, so finden wir, dass die Anzahl der Wellen des äussersten Roth in 42 000 Meilen vierhundert und sechzig Millionen beträgt. Alle diese

¹⁾ Vgl. Tyndall, Schall. Siebente Vorlesung und dritte Auflage Kap. VIII Longmanns.

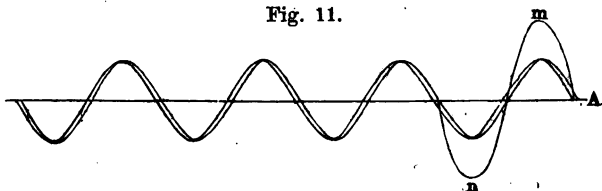
Wellen treten in einer Secunde in das Auge ein und treffen die Netzhaut an der Rückseite des Auges. Auf ähnliche Weise findet man, dass die Anzahl der Anstöße, der die Empfindung des Violett entspricht, sich auf sechshundertachtundsiebzig Billionen beläuft.

Der ganze Weltraum ist mit Materie erfüllt, die mit solcher Geschwindigkeit oscillirt. Von jedem Stern breiten sich nach allen Richtungen in Kugelschalen Wellen von diesen Dimensionen mit der Geschwindigkeit des Lichtes aus. Und wie in dem Wasser, so ist auch im Aether die Bewegung jedes Theilchens die algebraische Summe aller ihm mitgetheilten Bewegungen. Dabei wird nicht eine Bewegung durch eine andere vernichtet; wenn etwa an einem Punkte eine Auslöschung entsteht, so wird sie an einem andern Punkte durch stärkere Bewegung vollkommen compensirt. Jeder Stern zeigt durch sein Licht seine Individualität an, als ob er allein seine Schwingungen durch den Weltraum sendete.

§. 6. Interferenz des Lichtes.

Das Princip der Interferenz lässt sich, wie eben bewiesen worden ist, ebenso wie auf die Wasser- und Schallwellen, so auch auf die Lichtwellen anwenden. Und die Be-

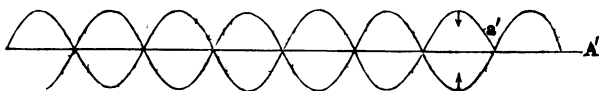
Fig. 11.



dingungen für die Interferenz sind bei allen drei Wellenarten dieselben. Gehen zwei Reihen von Lichtwellen von derselben Wellenlänge im selben Augenblick von einem gemeinsamen Ausgangspunkt (A, Fig. 11) aus, so

fällt Berg mit Berg, Thal mit Thal zusammen, und beide Systeme bilden zusammen ein einziges von der doppelten Amplitude ($Am\ n$). Beginnen beide Wellenreihen in demselben Augenblick und ist die eine beim Entstehen eine ganze Wellenlänge vor der andern voraus, so addiren sie sich gleichfalls und die Lichtwirkung wird vergrößert. Dasselbe tritt ein, wenn das eine Wellensystem dem andern eine gerade Anzahl von halben Wellenlängen voraus ist. Ist aber das eine System um eine halbe Wellenlänge (wie $A' a'$, Fig. 12) oder irgend

Fig. 12.



eine ungerade Anzahl von halben Wellenlängen vor dem andern voraus, so fallen die Berge der einen Welle mit den Thälern der andern zusammen; in der That strebt das eine System die Aethertheilchen an eben den Stellen in die Höhe zu heben, wo sie von dem andern herabgezogen werden; es bleibt demnach durch die vereinigte Wirkung dieser entgegengesetzten Kräfte (sie sind durch die Pfeile bezeichnet) der Lichtäther vollkommen ruhig. Diese Ruhe des Aethers bildet das, was wir Dunkelheit nennen, und diese entspricht einer vollständig unbewegten Wasserfläche.

Wir sagten in unserer ersten Vorlesung bei der Besprechung der durch Absorption hervorgebrachten Farben, dass die Wirkung der Körper in der Natur eine auswählende, nicht eine schöpferische sei, dass sie gewisse Bestandtheile des weissen Sonnenlichtes auslöschen und dann in den Farben des nicht ausgelöschten Lichtes erscheinen. Sie werden sogleich erkennen, dass wenn

wir in der Interferenz ein Mittel haben, durch das sich das Licht selbst auslöschen kann, wir auch in ihr die Bedingungen haben können, um Farben zu erzeugen. Hier-nach würden aber gewisse Bestandtheile durch Interferenz ausgelöscht werden und andere übrig bleiben können. Das ist auch in der That der Fall und beruht allein auf dem Unterschied der Wellenlängen der verschiedenen Farben.

§. 7. Farben dünner Blättchen. Beobachtungen von Boyle und Hooke.

Wir wollen aus diesem Gebiete eine Anzahl von Erscheinungen vorführen, durch die zuerst Hooke auf die Undulationstheorie geführt wurde. Es sind dies die Farben dünner durchsichtiger Schichten jeglicher Art, die unter dem Namen der Farben dünner Blättchen bekannt sind. In dieser Beziehung bietet nichts in der Welt ein grösseres wissenschaftliches Interesse dar, als eine gewöhnliche Seifenblase. Ich darf wohl bemerken, dass sich hier dem Vertreter der reinen Wissenschaft inmitten „praktischer“ Völker, wie die Engländer und Amerikaner sind, ganz besondere Schwierigkeiten entgegenstellen; man kann nicht erwarten, dass in solchen Ländern eine tiefere Sympathie für Arbeiten vorhanden sei, die sich so weit von dem Bereich des praktischen Lebens entfernen, wie die Arbeiten eines Mannes der Wissenschaft. Denken Sie sich, dass Dr. Draper seine Tage damit zubrächte, Seifenblasen zu machen und ihre Farben zu studiren! Werden Sie mit ihm die nöthige Geduld haben und ihm die nöthigen Subsistenzmittel zuwenden? Und doch bedenken Sie wieder, dass sich mit solchen Dingen Männer wie Boyle, Newton und Hooke beschäftigten; und dass auf solche Versuche eine Theorie gegründet wurde, deren Erfolge unberechenbar sind.

Ich sehe keinen andern Ausweg für Sie, die Laien, als dass Sie dem Gelehrten in der Wahl seiner Untersuchungsthemata vertrauen; er steht vor dem Richterstuhl von seines Gleichen und dem Urtheil dieser Männer über seine Arbeiten müssen Sie sich schon fügen.

Woher kommen denn die Farben einer Seifenblase? Denken Sie sich, dass ein Strahl weissen Lichtes auf die Blase falle. Wenn er die erste Oberfläche des Häutchens trifft, so wird ein bestimmter Theil des Lichtes reflectirt. Ein grosser Theil des Strahles tritt in das Häutchen ein, trifft auf die zweite Oberfläche und wird wieder zum Theil reflectirt. Die Wellen kehren also an der zweiten Oberfläche um und folgen den von der ersten Oberfläche reflectirten Wellen auf dem Fusse nach. Wenn die Dicke des Häutchens derart ist, dass sie die entsprechende Verzögerung hervorbringt, so interferiren die beiden Wellensysteme miteinander und bedingen je nach den Verhältnissen eine Verstärkung oder Schwächung der Lichtintensität.

Da nun aber die Lichtwellen verschiedene Längen haben, so ist es klar, dass, um bei den Wellen von grösserer Wellenlänge eine Auslöschung hervorzubringen, eine grössere Dicke des Häutchens nöthig ist, als bei denen von kürzerer Länge. Es müssen sich demnach verschiedene Farben bei verschiedenen Dicken des Häutchens zeigen.

Giessen Sie eine kleine Flasche voll Terpentinöl auf einem Ihrer Teiche aus, so werden Sie sehen, wie Farben an der Oberfläche des Wassers aufblitzen. In kleinerem Maassstabe können wir dies hier hervorgerufen: Ein gewöhnliches Theebrett wird mit Wasser gefüllt; unter dessen Oberfläche das Ende einer Pipette taucht. Ein Lichtstrahl fällt auf das Wasser

und wird von ihm auf einen Schirm reflectirt. Terpentinöl wird in die Pipette gegossen; es sinkt, tritt aus dem Ende derselben in kleinen Tropfen aus, die nach einander an die Oberfläche steigen. Jeder Tropfen, der die Oberfläche erreicht, breitet sich augenblicklich zu einem Häutchen aus, und auf dem Schirme erscheinen sogleich glänzende Farben. Die Farben verändern sich, wie sich die Dicke des Häutchens ändert. Sie sind auch zonenweise angeordnet, in Folge der allmählichen Verminderung der Dicke vom Centrum nach aussen.

Jede dünne Schicht erzeugt diese Farben. Die Luftschicht zwischen zwei aneinandergesetzten Glasplatten zeigt, wie Hooke dargethan hat, lebhaft farbige Streifen. Sie sehen jetzt ein besonders schönes Beispiel solcher Streifen vor sich. Luft ist dazu nicht nöthig; jede Unterbrechung der optischen Continuität genügt. Schlagen Sie mit einer Axt auf das schwarze durchsichtige Eis unter der Moräne eines Gletschers — schwarz ist es, da es rein und von bedeutender Dicke ist. Sie werden in dem Innern Brüche erzeugen, zu denen keine Luft dringen kann, und diese Brüche zeigen häufig die glänzendsten Farben dünner Blättchen. Historisch am interessantesten ist aber ohne Zweifel ihr Entstehen an den Seifenblasen. Mit einer Mischung, die von dem bedeutenden blinden Naturforscher Plateau bei seinen Untersuchungen über die Cohäsionsfiguren dünner Häutchen benutzt worden ist, können wir in ruhiger Luft Blasen von zehn bis zwölf Zoll im Durchmesser erhalten. Mögen Sie nun auf die Blase selbst oder auf ihre Projection auf den Schirm blicken, in beiden Fällen sehen Sie lebhaft, in Zonen angeordnete Farben. Machen Sie die Lichtstrahlen parallel und lassen Sie sie von oben oder von unten oder von der Seite auf die Blase fallen, stets treten

glänzende Farbenfächer, die von der Blase reflectirt werden, auf dem Schirm auf, die rotiren, wenn sie den Strahl um die Blase hinführen. Durch diesen Versuch werden auch die inneren Bewegungen des Häutchens deutlich sichtbar.

Grosse Theorien werden nicht in einem Augenblick ausgearbeitet. Die Thatsachen, aus denen sie entspringen, fallen zuerst in die Augen, dann folgt der Periode der Beobachtung eine Periode des Nachdenkens und von Erklärungsversuchen. Durch solche Arbeit wird der menschliche Geist allmählich für die letzte theoretische Erkenntniss vorbereitet. Die Farben dünner Blättchen beschäftigten zum Beispiel die Aufmerksamkeit von Robert Boyle. In seiner „Experimental History of Colours“ kämpft er gegen die Schulen, die behaupteten, dass die Farbe „eine penetrative Qualität sei, die bis zu den innersten Theilchen des Gegenstandes reiche“, indem er dem widersprechende Thatsachen anführte. „Um Ihnen ein Beispiel anzugeben“, sagt er, „brauche ich Sie nur daran zu erinnern, was ich am Anfang dieser Abhandlung über das Blau und Roth und Gelb gesagt habe, das auf einem gehärteten Stahl hervorgerufen werden kann, denn so lebhaft diese Farben auch sein mögen, so zeigt sich doch beim Zerbrechen des Stahles, dass sie sich nur an der Oberfläche befinden.“ Er beschreibt dann mit Ausdrücken, aus denen die grosse Freude ersichtlich ist, die ihm die Arbeit machte, folgenden schönen Versuch: „Wir nahmen eine Quantität reinen Bleies, schmolzen es in starkem Feuer und gossen es sogleich in ein reines Gefäss von passender Grösse und geeignetem Material (wir benutzten ein Eisengefäss, damit die grosse und plötzliche Hitze ihm nichts schadete). Nahmen wir alsdann sorgfältig und schnell den Schlamm

fort, der sich an der Oberfläche befand, so bemerkten wir, wie wir erwartet hatten, dass die glatte und glänzende Oberfläche der geschmolzenen Substanz mit einer prächtigen Farbe bedeckt war; sie war aber ebenso vergänglich wie schön, und machte fast augenblicklich einer andern lebhaften Farbe Platz; dieser folgte ebenso schnell eine dritte, die dann wieder durch eine vierte verdrängt wurde. Diese prächtigen Farben erschienen und vergingen, bis das Metall nicht mehr heiss genug war, um dieses anmuthige Schauspiel zu bieten. Die Farben, die die Oberfläche in dem Augenblick schmückten; als das Blei sich soweit abzukühlen begann, blieben darauf; sie befanden sich aber nur auf der äussersten Oberfläche, so dass, wenn wir auch nur eine Spur von derselben wegschabten, wir auch die Farbe an den betreffenden Stellen vollständig vernichteten. „Diese Versuche“, fügte er hinzu, „erregten in mir Gedanken und Vermuthungen, zu deren Mittheilung mir jetzt die Zeit fehlt¹⁾.“

Er dehnt seine Untersuchungen auf die wichtigsten ätherischen Oele und auf Weingeist aus, die, wenn sie so lange geschüttelt werden, dass sie eine gehörige Anzahl von Blasen bilden, an diesen Blasen bei aufmerksamer Betrachtung verschiedene liebliche Farben zeigen, die sogleich verschwinden, wenn die diese Blasen bildenden Oelhäutchen sich wieder mit der ganzen Masse der Substanz vereinigen. Er erwähnt auch die Farben der Glasblättchen: „Ich habe eins gesehen, das dadurch hergestellt worden war, dass man eine Glaskugel bis zum Platzen in der Lampe aufblies; dabei zeigte sich, dass sich das Glas in Folge seiner grossen Zähigkeit vor dem

¹⁾ Boyle's Werke, Birch's edition, p. 675.

Zerreissen in so feine Blättchen bringen lässt, dass sie auf ihren Oberflächen die wechselvollen Farben des Regenbogens zeigen ¹⁾.“

Robert Hooke beschäftigte sich nach Boyle mit den Farben dünner Blättchen; wir finden in seinen Schriften eine Ahnung der Undulationstheorie des Lichtes. Er beschreibt die Farben, die er durch dünne Schichten von Marienglas erhielt, sehr genau, auch die Farben an ungleich dichten Stellen von Krystallen, wo die optische Continuität zerstört ist. Er zeigt die Abhängigkeit der Farbe von der Dicke des Blättchens sehr deutlich und beweist durch mikroskopische Untersuchung, dass Platten von gleichförmiger Dicke auch gleichförmige Färbung zeigen. „Wenn Sie“, wie er sagt, „ein kleines Stück Marienglas nehmen und es mit einer Nadel oder irgend einem andern entsprechenden Instrument in dünnere und immer dünnere Blättchen spalten, so werden Sie finden, dass die Blättchen, ehe sie eine bestimmte Dünnhheit haben, durchsichtig und farblos erscheinen; fahren Sie aber fort, sie zu spalten und zu theilen, so werden Sie zuletzt finden, dass jedes Blättchen besonders schön gefärbt ist oder in einer bestimmten Farbe erglänzt. Wenn Sie nun auf irgend eine Art ein ziemlich dickes Stück so zerspalten, dass ein Theil sich etwas vom andern trennt und Sie zwischen diese beiden Theile irgend ein durchsichtiges Medium einführen, so werden die blätterigen oder durchsichtigen Körper, die den Zwischenraum erfüllen, mehrere Regenbogen oder gefärbte Linien zeigen, deren Farben nach den verschiedenen Dicken der einzelnen Theile des Blättchens vertheilt und geordnet sind.“ Dann beschreibt er klar und vollständig den schon angeführten Versuch mit den gepressten Gläsern:

¹⁾ Boyle's Werke, Birch's edition, p. 748.

„Nehmen Sie zwei kleine Stücke geschliffenes und polirtes Spiegelglas, jedes ungefähr von der Grösse eines Schillings; trocknen Sie sie und drücken sie mit Ihren Zeigefingern und Daumen recht stark und fest an einander, so werden Sie finden, dass, wenn sie einander sehr nahe kommen, Linien in den verschiedenen Regenbogenfarben fast in derselben Art wie bei dem Marienglas erscheinen; Sie können sehr leicht jede dieser Farben an den einzelnen Stellen des zwischengeschobenen Körpers ändern, wenn Sie die Blättchen fester und stärker zusammendrücken oder sie loser lassen, d. h. es kann ein Theil, der früher roth gefärbt erschien, jetzt gelb, blau, grün, purpurfarben oder ähnlich gefärbt erscheinen. Eine jede Substanz“, sagt er, „wenn sie nur dünn und durchsichtig ist, kann diese Farben zeigen.“ Er erhielt sie, wie Boyle, durch sehr dünne Glashäutchen; er erzeugte sie auch durch Blasen von Pech, Harz, Kolophonium, Terpentin, durch verschiedene Gummilösungen, z. B.: von Gummi arabicum in Wasser, durch irgend eine zähe Flüssigkeit, als: Bierwürze, Wein, Weinsprit, Terpentinöl u. s. f.

Hooke's Schriften zeigen, dass selbst schon zu seiner Zeit der Gedanke, dass sowohl Licht als auch Wärme Bewegungsarten seien, sich vieler Geister bemächtigt habe. „Zuerst“, sagte er, „wird man mir wohl leicht zugeben, dass die Theilchen von aller Art feurig brennender Körper in Bewegung sind. Dass der Funke, den man aus Kiesel und Stahl schlägt, in rascher Bewegung ist, habe ich sonst schon als wahrscheinlich erwiesen; dass Wärme eine Bewegung der inneren Theile (wie ich schon vorher sagte) voraussetzt, ist allgemein angenommen.... und dass alle äusserst heissen, leuchtenden Körper eine sehr schnelle Bewegung besitzen, die Licht erzeugt, ebenso

wie eine kräftigere, die Wärme erzeugt, das kann man aus der Geschwindigkeit schliessen, mit der die Körper zerstört werden. Nächst dem muss es eine schwingende Bewegung sein.“ Sein Hinweis auf die rasche Bewegung des Lichtes und die kräftigere Bewegung der Wärme ist ein auffallend scharfsinniger Gedanke; aber Hooke's Intuition ist mehr werth, als seine Schlussfolgerungen; denn die Beweise, die er dafür anführt, dass das Licht „eine schwingende Bewegung“ sei, haben keinen besondern Werth für die Lösung der Frage.

Und doch hatte dieser hervorragende Gelehrte sicher eine Ahaung der Undulationstheorie. Indem er sich bemüht, eine Ursache für die Farben der dünnen Blättchen zu finden, kommt er wieder auf die Beziehung der Farbe zur Dicke zurück; er hält an der Thatsache fest, dass die dünne Schicht, die diese Farben zeigt, durchsichtig sein müsse, und beweist es, indem er zeigt, dass, so dünn auch ein undurchsichtiger Körper gemacht wird, er doch keine Farben erzeugt. „Ich habe diesen Versuch oft angestellt“, sagt er, „und eine kleine Quecksilberkugel zwischen zwei ebenen Glasplatten gepresst und dadurch diesen Körper weit dünner gemacht, als nöthig gewesen wäre, um die Farben mit einem durchsichtigen Körper zu erzielen.“ Dann folgt die scharfsinnige Bemerkung, dass, um die Farben zu erzeugen, ein stark reflectirender Körper in der Nähe der untern oder entferntern Seite des dünnen Blättchens sein müsse; „denn ich habe immer gefunden, dass, je stärker die Reflexion war, um so lebhafter auch die erscheinenden Farben waren.“ „Aus diesen Beobachtungen“, fährt er fort, „geht klar hervor, dass die Reflexion von der untern oder entferntern Seite des Körpers die hauptsächlichste Ursache der Bildung dieser Farben ist.“

Er zeichnet ein Diagramm, das genau die Reflexion auf den beiden Oberflächen des Blättchens darstellt, aber hier hört sein Verständniss auf. Er schreibt die Farben einer Coalescenz oder Verwirrung der beiden reflectirten Schwingungen zu; da er das Gesetz der Interferenz nicht kannte, konnte er mit seiner Erklärung nicht weiter kommen.

§. 8. Newton'sche Ringe. Verhältniss der Farbe zur Dicke des Blättchens.

Auf diese Weise haben in fleissiger Arbeit viele Forscher Thatfachen beobachtet, untersucht und die genauen Bedingungen ihrer Erscheinung ermittelt. All diese Arbeit in der Wissenschaft ist der Vorläufer für andere Arbeit; und die Anstrengungen von Boyle und Hooke ebneten den Weg für Newton's optische Laufbahn. Er besiegte die Schwierigkeit, die Hooke unüberwindlich schien, und bestimmte durch genaue Messungen das Verhältniss der Dicke des Blättchens zu seiner Farbe. Um dies zu erreichen, war es seine erste Sorge, ein Blättchen von wechselnder und berechenbarer Dicke zu erhalten. Auf eine planconvexe Glas-

Fig. 13.



linse (DBE , Fig. 13) von sehr schwacher Krümmung legte er eine Glasplatte (AC) mit ebener Oberfläche und erhielt so einen Raum von Luft, der allmählich an Dicke vom Berührungspunkt (B) nach aussen hin zunahm.

Als er den Luftraum in einfarbigem Licht beobachtete, sah er mit der Freude, welche die Bestätigung einer Vermuthung mit sich bringt, rings um den Berührungspunkt eine Reihe von glänzenden Ringen, die von einander durch dunkle getrennt waren, und die sich um so dichter an einander legten, je mehr die Entfernung vom Berührungspunkt zunahm (wie in Fig. 14). Wenn er rothes Licht anwandte, hatten seine Ringe bestimmte Durch-

Fig. 14.



messer; benutzte er blaues Licht, so wurden die Durchmesser kleiner. Je brechbarer das Licht war, desto kleiner waren also die Ringe. Führt er seine Gläser durch das Spectrum vom Roth zum Blau, so zogen sich die Ringe allmählich zusammen; ging er vom Blau zum Roth über, so dehnten sich die Ringe aus.

Dies ist ein schöner Versuch und er scheint Newton die grösste Befriedigung gewährt zu haben. Fiel weisses Licht auf die Gläser, so erhielt man eine Reihe von regenbogenfarbigen Kreisen, soweit die Farben sich nicht deckten. Sie haben jetzt ein vergrössertes Bild der Newton'schen Ringe vor sich, und verwenden wir nach einander rothes, blaues und weisses Licht, so erhalten wir alle Erscheinungen, die Newton beobachtet hat. Sie bemerken, dass die Ringe im einfarbigen Licht näher und näher an einander liegen, wenn sie sich vom Centrum entfernen. Es kommt dies daher, dass in einer gewissen Entfernung vom Centrum die Luftschicht schneller dicker wird, als nahe demselben.

Wendet man weisses Licht an, so bewirkt dies Aneinanderrücken der Ringe, dass die verschiedenen Farben sich über einander lagern, sich bei einer gewissen Dicke zu weissem Licht vereinen und die Ringe ganz verschwinden. Nach kurzer Ueberlegung begreifen wir, dass die Farben von dünnen Platten, die durch weisses Licht hervorgerufen wurden, nie ungemischt und einfach sein können.

Newton verglich die auf diese Weise erhaltenen Farbentöne mit den Farben einer Seifenblase und berechnete die entsprechende Dicke. Ich möchte Ihnen seine Methode klar machen: Nehmen Sie an, das Wasser des Oceans sei vollkommen ruhig; es würde dann genau die gekrümmte Oberfläche der Erde darstellen. Eine vollkommen horizontale Ebene soll die Oberfläche an irgend einem Punkt berühren. Da wir den Durchmesser der Erde kennen, so kann Ihnen jeder Ingenieur oder Mathematiker in diesem Saal angeben, wie tief die Oberfläche des Meeres in ein, zehn, hundert oder tausend Fuss Entfernung von dem Berührungspunkt der Ebene und des Meeres unter dieser Ebene liegt. Man nimmt in der That stets bei Nivellirungsarbeiten auf die Erdkrümmung Rücksicht.

Newton's Berechnung war genau die gleiche. Sein ebenes Glas tangirte das gekrümmte. Aus seinem Brechungsverhältniss und seiner Brennweite bestimmte er den Durchmesser der Kugel, von der sein gekrümmtes Glas einen Abschnitt bildete; er maass die Entfernung der Ringe vom Berührungspunkte aus und berechnete die Dicke zwischen der Tangentialebene und der gekrümmten Oberfläche, gerade so wie der Ingenieur die Entfernung zwischen seiner Tangentialebene und der Meeresoberfläche berechnet. Wunderbar ist es, wie Newton, wo so unendlich kleine Entfernungen in Betracht kamen,

bei den Mitteln, die ihm zu Gebot standen, doch mit so überraschender Genauigkeit arbeiten konnte.

Die Erklärung dieser Ringe war die grösste optische Schwierigkeit, die Newton je entgegen trat. Er war sich der schweren Aufgabe vollkommen bewusst. Sein Adlerblick war durch keinen Schleier getrübt, in seinen Anschauungen gab es keine Unklarheit. Gleich beim Beginn seiner Arbeit warf sich gegen seine Theorie die Frage auf: Warum werden, wenn ein Lichtstrahl auf einen durchsichtigen Körper fällt, einige seiner Lichttheilchen reflectirt und andere durchgelassen? Giebt es zwei Arten von Theilchen, von denen die eine besonders für die Durchlassung, die andere für die Reflexion geeignet ist? Dies kann nicht der Grund sein; denn, wenn wir einen Lichtstrahl, der schon von einem Stück Glas reflectirt worden ist, auf ein anderes fallen lassen, so wird er, nach der allgemeinen Regel, wiederum in einen reflectirten und in einen durchgelassenen Theil zerfallen. So werden weder die einmal reflectirten Theilchen immer reflectirt, noch die einmal durchgelassenen Theilchen immer durchgelassen. Newton sah Alles dies; er wusste, dass er erklären musste, warum dasselbe Theilchen in einem Moment reflectirt und im nächsten Moment durchgelassen wurde. Es konnte nur durch irgend eine Veränderung in der Beschaffenheit des Theilchens selbst geschehen. Dasselbe Theilchen, behauptete er, habe abwechselnd „Anwandlungen“ von leichter Durchlässigkeit und Anwandlungen von Reflexion.

§. 9. Theorie der „Anwandlungen“ in ihrer Anwendung auf die Newton'schen Ringe.

Wenn Sie mir bei einem Versuche, die speculative Basis dieser Theorie der Anwandlungen zu ergründen,

folgen wollen, so wird, denke ich, die Schulung im Denken Sie für die dabei nothwendige angestrengte Aufmerksamkeit belohnen.

Newton war sehr zurückhaltend in der Enthüllung seiner Ansichten über die Ursache dieser Anwandlungen; doch bleibt uns kaum ein Zweifel, dass er sie in einer physikalischen Ursache suchte. Auch kann kein Zweifel obwalten, dass er hier, wie bei allen Versuchen, Theorien aufzustellen, genöthigt war, auf die Erfahrung für die Grundlagen seiner Theorie zurückzugehen. Wir wollen versuchen, seinem Gedankengange und seinen Beobachtungen zu folgen. Ein Magnet konnte ihm die Vorstellung von angezogenen und abgestossenen Polen liefern; und er, der gewöhnlich im Sichtbaren ein Bild des Unsichtbaren sah, konnte naturgemäss seinen Lichttheilchen solche Pole geben. Kehrt er ihre angezogenen Pole einer durchsichtigen Substanz zu, so mussten die Theilchen angezogen und durchgelassen werden; kehrte er ihr ihre abstossenden Pole zu, so mussten sie abgestossen oder reflectirt werden. So konnte bei einer Annahme von Polen die Durchlassung und die Reflexion desselben Theilchens zu verschiedenen Zeiten erklärt werden.

Betrachten Sie die Newton'schen Ringe in reinem rothen Licht, so sind sie abwechselnd hell und dunkel. Die Luftschicht, die dem äussersten von ihnen entspricht, ist nicht dicker, als eine gewöhnliche Seifenblase, und sie wird dünner, wenn sie sich dem Centrum nähert; und doch maass Newton, wie ich sagte, die jedem Ring entsprechende Dicke und zeigte den Unterschied der Dicke von Ring zu Ring. Und jetzt das Resultat. Der Bequemlichkeit wegen wollen wir die Dicke der Luftschicht, die dem ersten dunkeln Ring entspricht, d nennen;

dann fand Newton die Entfernung, die dem zweiten dunkeln Ringe entsprach, gleich $2d$; die Dicke, die dem dritten dunkeln Ringe entsprach, gleich $3d$; die Dicke, die dem zehnten dunkeln Ringe entsprach, gleich $10d$ und so fort. Sicher musste irgend eine verborgene Bedeutung in der kleinen Entfernung d liegen, die immer wieder auftritt? Man kann sich das lebhafte Interesse vorstellen, mit dem Newton eine Erklärung dafür suchte. Und was war das wahrscheinliche Resultat seines Grübelns? Er hatte seinen Lichttheilchen Pole gegeben, aber jetzt muss er die Annahme einer periodischen Wiederkehr einführen. Hier konnte es ihm seine Begabung, das Sinnliche auf das Uebersinnliche zu übertragen, leicht machen, sich die Lichttheilchen nicht nur mit einer translatorischen Bewegung, sondern auch mit einer rotatorischen begabt zu denken. Newton war durch seine astronomischen Kenntnisse mit allen solchen Auffassungen vertraut. Die Erde hat solch eine doppelte Bewegung. In der Zeit, in der unser Planet über ein und eine halbe Million (engl.) Meilen auf seiner Bahn zurücklegt — also in vierundzwanzig Stunden — vollbringt er auch eine vollkommene Umdrehung, und man könnte annehmen, dass Newton's Lichttheilchen in der Zeit, in der sie die Entfernung d zurücklegen, eine vollkommene Rotation beschreiben. Es ist wahr, das Lichttheilchen ist kleiner als der Planet, und die Entfernung d beträgt, statt einer und einer halben Million Meilen, wenig mehr als ein neunzig Tausendstel eines Zolles. Und doch sind beide Annahmen in ihrem allgemeinen Grundprincip identisch.

Denken Sie sich nun ein Theilchen, das in die Luftschicht eintritt, wo sie diese richtige Dicke besitzt. Um in die Schicht einzutreten, muss sein angezogenes

Ende vorangehen. In der Schicht kann es sich einmal vollkommen um sich selbst drehen; an der anderen Seite der Schicht geht wieder der angezogene Pol voran; es wird daher an der entgegengesetzten Seite der Schicht in das Glas treten und für das Auge verloren sein. Rings um den Berührungspunkt, überall wo die Schicht genau diese Dicke hat, wird das Licht gleichfalls verschwinden; wir werden daher einen dunkeln Ring haben.

Und nun beachten Sie, wie genau diese Annahme mit dem von Newton entdeckten Gesetz der Proportionalität übereinstimmt. Beträgt die Dicke der Schicht $2d$, so hat das Theilchen Zeit, zwei vollständige Rotationen in der Schicht auszuführen; wenn die Dicke $3d$ beträgt, drei vollständige Rotationen; wenn $10d$, zehn vollständige Rotationen. Klar ist, dass in jedem Fall der angezogene Pol des Theilchens vorangeht, wenn dieses auf die zweite Oberfläche der Schicht kommt. Es wird daher durchgelassen, und weil kein Licht das Auge trifft, so haben wir einen dunkeln Ring an jeder dieser Stellen.

Die hellen Ringe ergeben sich genau aus derselben Vorstellung. Sie treten zwischen den dunkeln Ringen auf, da die Dicken, denen sie entsprechen, auch zwischen die der dunkeln fallen. Nehmen Sie den ersten hellen Ring. Die Dicke der Schicht ist $\frac{1}{2}d$; in diesem Intervall kann das rotirende Theilchen nur eine halbe Umdrehung ausführen. Wenn es nun die zweite Oberfläche der Schicht erreicht, geht sein abstossender Pol voran; es wird daher zurückgeworfen und trifft das Auge. Auf allen Entfernungen um das Centrum herum, die dieser Dicke entsprechen, wird dasselbe Resultat erhalten, und die Folge ist ein heller Ring. Die anderen hellen Ringe entsprechen denselben Ursachen. Beim

zweiten, wo die Dicke $1\frac{1}{2}d$ beträgt, erfolgt ein und eine halbe Umdrehung; beim dritten zwei und eine halbe Umdrehung und an jeder dieser Stellen kehren die Theilchen ihre abgestossenen Pole der unteren Oberfläche der Schicht entgegen. Sie werden daher zum Auge zurückgeworfen und erzeugen dort den Eindruck der Helligkeit. Obgleich diese Betrachtung bei eingehender Prüfung manche Schwierigkeit birgt, so können wir doch verstehen, wie die Theorie der Anwandlungen in Newton's Geist so fest wurzeln konnte.

Wir haben schon gesagt, dass die Emissionstheorie dem Licht eine grössere Geschwindigkeit in Glas und Wasser zuspricht, als in Luft oder im Sternenraum; und dass sie in diesem Punkt der Wellentheorie direct widerspricht, die die Geschwindigkeit in Luft oder im Sternenraum für grösser als in Glas oder Wasser erklärt. Durch einen von Arago vorgeschlagenen und mit bewundernswerther Geschicklichkeit von Foucault und Fizeau ausgeführten Versuch wurde diese Frage einer genauen Prüfung unterworfen und zu Gunsten der Wellentheorie entschieden.

In dem vorliegenden Fall stehen beide Theorien ebenfalls im Widerspruch. Newton nahm an, dass die Thätigkeit, welche die abwechselnd hellen und dunkeln Ringe erzeugt, an einer einzigen Oberfläche auftritt, d. h. an der zweiten Oberfläche der Schicht. Die Wellentheorie behauptet, dass die Ringe durch die Interferenz der Wellen entstehen, die von beiden Oberflächen zurückgeworfen werden. Auch dies ist durch den Versuch bewiesen worden. Durch richtig getroffene Anordnungen können wir, wie wir später sehen werden, die Reflexion an der einen Oberfläche der Schicht vernichten und wenn dies geschieht, verschwinden die Ringe gänzlich.

Ringe von schwacher Intensität werden auch durch das durchgelassene Licht gebildet. Diese werden durch die Wellentheorie der Interferenz solcher Wellen zugeschrieben, die direct durch die Schicht gegangen sind, mit anderen, die zwei Reflexionen in der Schicht erlitten haben. Sie sind so vollständig erklärt.

§. 10. Die Beugung des Lichtes.

Man sagt, dass Newton's Annahme der Emissionstheorie die wissenschaftlichen Entdeckungen verzögert habe. Man könnte indess wohl fragen, ob nicht eigentlich der Erfolg der Irrthümer der grossen Gelehrten der sei, dass sie den geistigen Fortschritt periodisch machen, statt dass er sonst immer gleichmässig bliebe, „die Verzögerung“ ist in jedem vorkommenden Fall das Vorspiel zu einem rascheren Fortschritt. Wir müssen eher Verwirrung und Stockung, als Irrthum vermeiden. Wurde nun auch die Entwicklung der Wellentheorie für eine Zeit aufgehalten, so gewann sie doch in der Zwischenzeit an Kraft, und ihre Entwicklung war im letzten halben Jahrhundert so rasch und so siegreich, dass sie alle Nebenbuhler aus dem Felde schlug.

Wir müssen uns jetzt der Prüfung einer neuen Gruppe von Erscheinungen zuwenden, die die Wellentheorie allein befriedigend erklären kann. Newton, der mit dem Gedanken des Aethers vertraut war und ihn in einige seiner Speculationen einführte, warf, wie schon gesagt, ein, dass wenn das Licht aus Wellen bestände, kein Schatten existiren könnte; denn die Wellen würden sich um die Ecken der dunkeln Körper beugen und den Aether dahinter in Bewegung setzen. Er hatte Recht

darin, dass diese Beugung eintreten müsste, aber Unrecht in der Annahme, dass sie nicht eintritt. Die Beugung ist thatsächlich vorhanden, obgleich für gewöhnlich durch die Wirkung der Interferenz verhüllt. Diese Beugung des Lichtes wird Diffraction genannt.

Um die Erscheinung der Diffraction gründlich untersuchen zu können, muss unsere Lichtquelle ein physikalischer Punkt oder eine feine Linie sein; denn wenn wir leuchtende Oberflächen anwenden, so verdunkeln und neutralisiren sich die Wellen, die von verschiedenen Punkten der Oberfläche ausgehen. Wir erhalten einen Lichtpunkt von grosser Intensität, wenn wir die parallelen Sonnenstrahlen durch eine Oeffnung eines Fensterladens einfallen lassen und die Strahlen durch eine Linse von kurzer Brennweite ansammeln. Das kleine Sonnenbild im Focus giebt einen geeigneten Lichtpunkt. Auch das Sonnenbild, das sich auf der convexen Oberfläche einer Glasperle oder auf einem innen geschwärzten Uhrglas bildet, genügt. Man erhält eine intensive Lichtlinie, wenn man das Sonnenlicht durch einen Spalt einfallen und durch starke cylindrische Linsen gehen lässt. Der Lichtstreif wird in der Brennnlinie der Linse zu einer physikalischen Linie zusammengezogen. Eine innen geschwärzte Glasröhre, die man in das Licht stellt, reflectirt von ihrer Oberfläche eine leuchtende Linie, die, obgleich weniger intensiv, doch schon dem Zweck entspricht.

In dem Versuch, den wir jetzt beschreiben wollen, wird ein verticaler Spalt von veränderlicher Breite vor die elektrische Lampe gestellt, und dieser Spalt wird in einiger Entfernung durch einen anderen verticalen Spalt beobachtet, der ebenfalls eine veränderliche Oeffnung hat und in der Hand gehalten wird.

Das Lampenlicht wird zuerst einfarbig gemacht, indem man reines rothes Glas vor den Spalt stellt. Wenn sich nun das Auge in der durch beide Spalten gehenden geraden Linie befindet, so beobachtet man eine merkwürdige Erscheinung (wie in Fig. 15). Zuerst sieht man den Spalt vor der Lampe als ein leuchtendes Rechteck von Licht; aber rechts und links davon ist eine lange Reihe von Rechtecken, die an Helligkeit abnehmen und von einander durch Intervalle von absoluter Dunkelheit getrennt sind.

Man sieht, wie die Breite dieser Bänder mit der Weite des Spaltes, der vor das Auge gehalten wird,

Fig. 15.

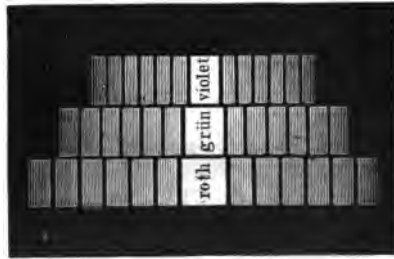


wechselt. Wird der Spalt breiter, so werden die Bänder schmaler und rücken näher zusammen; wird der Spalt schmaler, so werden die einzelnen Bänder breiter, entfernen sich von einander und lassen grössere dunkle Räume zwischen sich, als vorher.

Lassen wir alles Andere unverändert und stellen nur ein blaues Glas oder eine Lösung von schwefelsaurem Kupferammoniak, die ein sehr reines Blau giebt, in den Weg des Lichtes. Wir erhalten so eine Reihe von blauen Bändern, die in allen Beziehungen mit einer einzigen Ausnahme, den vorigen gleichen; die blauen Rechtecke sind schmaler und näher bei einander, als die rothen.

Wenden wir Farben von einer dazwischen liegenden Brechbarkeit an, was wir thun können, indem wir die verschiedenen Farben eines Spectrums durch den Spalt fallen lassen, so erhalten wir Farbenbänder, deren Breite dazwischen liegt und die Stellen zwischen denen des Roth und des Blau einnehmen. Das Bild der Bänder in rothem, grünem und violetterm Licht ist in Fig. 16 abgebildet. Fällt also weisses Licht durch den Spalt,

Fig. 16.



so liegen die verschiedenen Farben nicht über einander, und statt einer Reihe von monochromatischen Bändern, die von einander durch dunkle Intervalle getrennt werden, erhalten wir eine Reihe von farbigen Spectren neben einander. Wird der entfernte Spalt durch eine Kerze statt durch elektrisches Licht erleuchtet, oder wird ein entfernter, durch einen elektrischen Strom zum Weissglühen gebrachter Platindraht angewandt, so zeigt sich im Wesentlichen dieselbe Erscheinung.

§. 11. Anwendung der Wellen-Theorie auf die Beugungserscheinungen.

Die Emissionstheorie vermag für diese und eine grosse Anzahl ähnlicher Resultate keine genügende

Erklärung zu geben. Sehen wir, wie die Wellentheorie Rechenschaft über sie giebt.

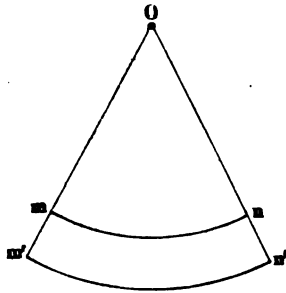
Ich muss mich hier, um vollkommene Klarheit zu erhalten, an jene Befähigung wenden, auf deren Bedeutung ich hier und sonst schon so viel Nachdruck gelegt habe — an die Gestaltungskraft der Phantasie. Denken Sie sich an den Meeresstrand versetzt und sehen Sie eine schön geformte Welle auf sich zurollen. Eine Reihe von Theilchen an der Vorderseite der Welle ist in derselben Entfernung unterhalb des Gipfels; sie steigen alle in der gleichen Weise und mit derselben Schnelligkeit. Eine ähnliche Reihe von Theilchen auf der Rückseite der Welle fällt in der gleichen Weise und mit derselben Schnelligkeit. Eine Reihe von Theilchen auf der Höhe der Welle ist auch in der gleichen Lage in Beziehung auf die Wellenbewegung. Dasselbe gilt auch für eine Reihe von Theilchen im Thal der Welle.

Da die in diesen verschiedenen Lagen befindlichen Theilchen immer in demselben Verhältniss zur Wellenbewegung stehen, so sagt man, sie seien in derselben Phase der Schwingung. Vergleichen Sie aber ein Theilchen vorn an der Welle mit einem im Rücken; oder vergleichen Sie irgend welche zwei Theilchen, die nicht dieselbe Stellung in der Welle einnehmen und deren Bewegungsbedingungen nicht dieselben sind, so sagt man, sie seien in verschiedenen Schwingungsphasen. Liegt eines der Theilchen auf der Höhe, das andere im Thal der Welle, von denen das eine eben steigen, das andere eben sinken will, so sagt man, sie seien in entgegengesetzten Schwingungsphasen.

Es giebt noch einen Punkt von der grössten Wichtigkeit für unsere Frage, den wir uns klar machen

müssen. O (Fig. 17) mag ein Punkt in stillem Wasser sein, der, wenn er erschüttert wird, eine Reihe von kreisförmigen Wellen erzeugt; die Störung, die diese Wellen erzeugt, ist nur eine auf- und abgehende Schwingung des Wassers bei O . mn sei die Lage des Kammes einer der Wellen in irgend einem Moment, und $m'n'$ seine Lage ein oder zwei Secunden nachher. Nun

Fig. 17.

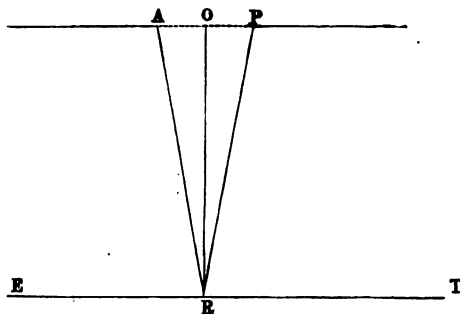


schwingt jedes Wassertheilchen, durch welches die Welle hindurchgeht, auf und ab. Wenn aber diese Schwingung genügt, um als Quelle für eine neue Wellenbewegung zu dienen, dann muss jedes einzelne Theilchen der Welle mn eine Reihe von kreisförmigen Wellen erzeugen. Zu diesem wichtigen Theil der Frage wollte ich Sie leiten. Jedes Theilchen der Welle mn wirkt ebenso. Nehmen wir jedes Theilchen als einen Mittelpunkt an und umgeben wir es mit einer kreisförmigen Welle, deren Radius der Entfernung zwischen mn und $m'n'$ gleich sei, so würde die Vereinigung all dieser kleinen Wellen eine grössere $m'n'$ aufbauen, gerade wie wir sie in der Natur vorfinden. Hier lösen wir in der That die Wellenbewegung in ihre einzelnen Theile auf, und haben wir dies erreicht, so giebt es auch keine grosse Schwierigkeit mehr für uns, wenn wir unsere Kenntnisse auf optische Erscheinungen anwenden wollen.

Kehren wir jetzt zu unserem Spalt zurück und untersuchen wir, der Einfachheit wegen, zuerst das monochromatische Licht. Denken Sie sich eine Reihe von Aetherwellen, die sich vom ersten Spalt aus dem zweiten

nähert und endlich den zweiten Spalt ausfüllt. Wenn die Wellen durch den letzteren treten, so verfolgt eine jede nicht nur den directen Weg zur Retina, sondern schweift auch rechts und links ab und strebt die ganze Aethermasse hinter dem Spalt in Bewegung zu versetzen. Es ist in der That, wie wir schon erklärt haben, jeder Punkt der Welle, die den Spalt ausfüllt, selbst das Centrum eines neuen Wellensystems, das sich nach allen Richtungen durch den Aether hinter

Fig. 18.

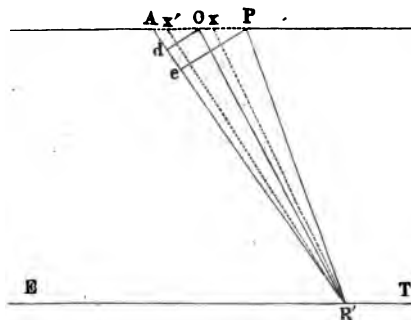


dem Spalt fortpflanzt. Dies ist Huygens berühmtes Gesetz; wir aber müssen untersuchen, wie diese secundären Wellen auf einander einwirken.

Wir wollen zuerst den mittleren Streifen der Reihe betrachten. AP (Fig. 18) sei die Weite der Oeffnung, die vor das Auge gehalten wird, natürlich sehr vergrößert, und die Pünktchen in der Oeffnung mögen Aethertheilchen vorstellen, die alle dieselbe Schwingungsphase haben. ET sei ein Theil der Retina. Man denke sich ein Loth OR von O im Centrum des Spaltes auf die Retina gefällt. Die dem Punkt R mitgetheilte Bewegung wird dann die Summe aller Bewegungen sein, die

in dieser Richtung von den Aethertheilchen in dem Spalt ausgehen. Berücksichtigen wir, wie ausserordentlich klein die Oeffnung ist, so können wir ohne grossen Irrthum annehmen, dass alle Punkte der Welle AP gleich entfernt von R seien. Keine der partiellen Wellen bleibt merklich hinter den anderen zurück; daher haben wir bei R und in seiner unmittelbaren Nähe keine merkliche Abnahme des Lichtes durch Interferenz. Dieses

Fig. 19.



unveränderte Licht erzeugt das leuchtende mittlere Band der Reihe.

Wir wollen jetzt die Wellen betrachten, die sich seitlich hinter dem zweiten Spalt ausbreiten. In diesem Fall müssen die Wellen von den beiden Seiten des Spaltes, um auf die Retina zu fallen, ungleiche Entfernungen durchmessen. AP (Fig. 19) möge, wie vorher, die Weite des zweiten Spaltes sein. Wir müssen nun die Wirkung der verschiedenen Theile der Welle AP auf einen Punkt R' der Retina beobachten, der nicht in der Linie liegt, die die beiden Spalten verbindet. Nehmen wir den besonderen Fall an, wo der Längenunterschied der beiden von den Rändern ausgehenden Strahlen AR' und PR'

bis zum Auge eine ganze Wellenlänge für das rothe Licht beträgt; wie muss dieser Unterschied auf die endliche Beleuchtung der Retina wirken?

Wir wollen unsere Aufmerksamkeit auf die specielle schräge Linie lenken, die von dem Centrum O des Spaltes zur Retina bei R' gezogen ist. Der Unterschied zwischen den Wegen der Wellen, welche diese Linie und welche die Linien von den beiden Punkten A und P durchmessen, ist in dem hier angenommenen Fall eine halbe Wellenlänge. Machen wir eR' gleich PR' , verbinden P und e , und ziehen Od parallel zu Pe . Dann ist Ae die Länge einer Lichtwelle, während Ad eine halbe Wellenlänge hat. Bei geringem Nachdenken wird es Ihnen klar werden, dass dies nicht nur der Unterschied zwischen den centralen und den Randwellen ist, sondern dass jeder Wellenlinie wie xR auf der einen Seite von OR' , eine Linie $x'R'$ auf der anderen Seite von OR entspricht, deren Weg um eine halbe Wellenlänge von dem ihrigen differirt, mit der sie also vollständig in Gegensatz steht. Die Folge davon ist, dass das Licht auf der einen Seite der centralen Linie das Licht auf der anderen Seite dieser Linie vollständig vernichtet, und dass absolute Dunkelheit die Folge des Zusammentreffens ist. So erklärt sich das erste dunkle Intervall unserer Reihe von Bändern. Es wird durch eine schräge Neigung der Richtung erzeugt, in Folge deren die Wege der Randwellen um eine ganze Wellenlänge von einander differiren.

Ist der Unterschied zwischen den Wegen der Randwellen eine halbe Wellenlänge, so wird eine theilweise Vernichtung des Lichtes bewirkt. Die Lichtintensität, die ihrer schrägen Richtung entspricht, beträgt etwas weniger als die Hälfte — genau 0,4 — des ungebeugten Lichtes.

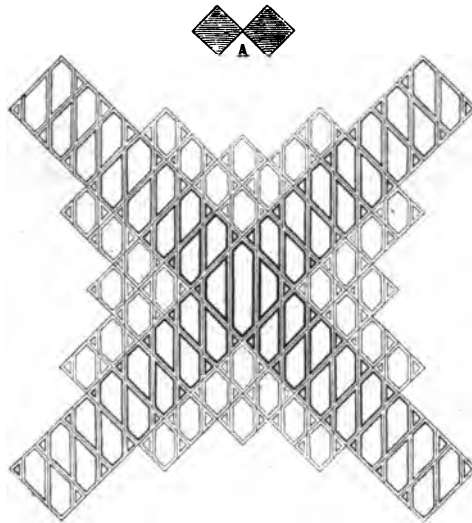
Sind die Wege der Randwellen um drei halbe Wellenschwingungen von einander verschieden, und wird der ganze Strahl in drei gleiche Theile getheilt, so werden sich zwei von diesen Theilen aus dem angegebenen Grunde vollkommen neutralisiren und nur der dritte wird wirksam sein. Wir haben daher ein leuchtendes Band, das der Neigung entspricht, die einen Unterschied von drei halben Schwingungen in den Randwellen erzeugt, und somit weit weniger intensiv ist, als das nicht gebeugte centrale Band.

Bei einem Unterschied der Randwellen von vier halben Wellenschwingungen haben wir eine zweite Auslöschung des ganzen Strahles, da hier der Strahl in vier gleiche Theile getheilt werden kann, von denen sich immer zwei gegenseitig auslöschen. Ein zweiter Raum von absoluter Dunkelheit entspricht daher der Neigung, die diesen Unterschied erzeugt. Wir könnten auf diese Weise fortfahren und das Resultat würde immer dasselbe sein. Da, wo die Richtung der Wellenbewegung eine solche ist, dass der Gangunterschied der Randstrahlen eine gerade Anzahl von halben Schwingungen beträgt, würden wir eine vollständige Auslöschung beobachten; während da, wo der Unterschied eine ungerade Zahl von halben Schwingungen beträgt, nur eine theilweise Auslöschung eintritt und ein Theil des Strahles als leuchtendes Band zurückbleibt.

Nach einer kurzen Ueberlegung wird es Ihnen klar werden, dass, je weiter der Spalt, desto geringer die Neigung der Richtung zu sein braucht, um die nöthige Verschiedenheit des Weges zu erzeugen. Daher liegen bei einem breiten Spalt, wie schon angeführt, die Bänder dichter bei einander, als bei einem schmalen. Klar ist auch, dass, je kürzer die Welle, desto geringer auch

die Neigung zu sein braucht, um die nothwendige Verzögerung zu erzeugen. Die Maxima und Minima des violetten Lichtes müssen daher dem Centrum näher liegen als die Maxima und Minima des rothen Lichtes. Die Maxima und Minima der anderen Farben liegen zwischen diesen beiden Grenzen. In so einfacher Weise

Fig. 20.

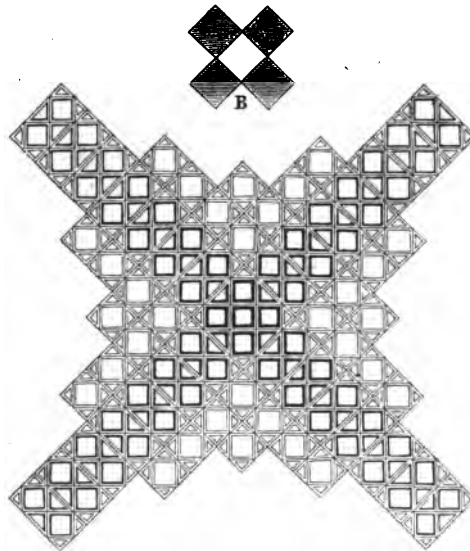


erklärt die Wellentheorie die oben angeführten merkwürdigen Erscheinungen.

Benutzt man einen Spalt und ein Fernrohr statt des Spaltes und des blossen Auges, so werden die Erscheinungen vergrößert und glänzender. Sieht man durch ein richtig eingestelltes Fernrohr, vor dem eine kleine kreisrunde Oeffnung angebracht ist, auf einen entfernten Lichtpunkt, so ist der Punkt von einer Reihe kreisförmiger gefärbter Ringe umgeben. Wendet man monochromatisches Licht an, so sind diese Ringe nur hell

und dunkel, bei weissem Licht dagegen zeigen die Kreise Regenbogenfarben. Wird der Spalt so verkürzt, dass er eine quadratische Oeffnung bildet, so haben wir zwei Reihen von Spectren, die in einem rechten Winkel gegen einander geneigt sind. Die Erscheinungen können unendlich verändert werden, je nachdem man die Grösse, Gestalt und Zahl der Oeffnungen verändert, durch die

Fig. 21.



der Lichtpunkt beobachtet wird. Durch zwei viereckige Oeffnungen, deren Ecken sich bei *A* berührten, beobachtete Schwerd die Erscheinung, wie sie Fig. 20 (a. v. S.) zeigt. Als er zu ihnen zwei andere hinzufügte, wie bei *B*, beobachtete er die in Fig. 21 dargestellte Erscheinung. Die Lage jedes Licht- und Schattenstreifens in diesen Figuren ist mittelst der Theorie von Fresnel, Fraunhofer, Herschel, Schwerd und Anderen berechnet worden und durch den Versuch bestätigt. Ihre Augen

könnten Ihnen nicht mit grösserer Sicherheit die Existenz dieser Bänder zeigen, als die theoretische Berechnung.

Sieht man die Strassenlaternen bei Nacht durch das Gewebe eines Taschentuches an, so zeigen sie Beugungserscheinungen. Die Beugungserscheinungen, die man beim Hindurchsehen durch Vogelfedern erhält, sind, wie Schwerd gezeigt hat, ausserordentlich schön. Die Regenbogenfarben gewisser Wolken in den Alpen sind ebenfalls eine Wirkung der Beugung, die man mit Sporen von *Lycopodium* nachahmen kann. Bestreut man eine Glasplatte mit diesen Sporen, so erscheint ein Lichtpunkt, den man durch eine bestäubte Platte betrachtet, von farbigen Kreisen umgeben, die bei sehr hellem Licht äusserst glänzend werden. Werden die Sporen in die Luft gestreut, so erzeugen sie dieselbe Wirkung. Die Beugungserscheinungen, die man während des künstlichen Niederschlages von Wolken aus den Dämpfen verschiedener Flüssigkeiten in einer sehr hell erleuchteten Röhre erhält, sind auch von wunderbarem Glanz.

Einen der interessantesten Fälle von Beugung durch kleine Theilchen, beobachtete ich an einem Künstler, der alle Gegenstände von lebhaft gefärbten Kreisen umgeben sah. Er war in grosser Sorge, dass er seine Sehkraft verlieren könne, und führte als Grund seiner wachsenden Furcht an, dass die Kreise grösser und die Farben lebhafter würden. Ich schrieb die Farben kleinen Theilchen in den Flüssigkeiten des Auges zu und wagte es, ihm Muth durch die Versicherung einzusprechen, dass das Wachsen der Kreise an Grösse und Glanz anzeige, dass die beugenden Theilchen kleiner würden und dass sie vielleicht zuletzt ganz absorbirt werden könnten. Meine Prophezeiung traf ein. Man braucht wohl kein Wort

darüber zu verlieren, wie nothwendig die Kenntniss der Optik für den praktischen Augenarzt ist.

Ohne vorläufig auf die farbigen Erscheinungen in den Krystallen einzugehen, muss ich noch zwei andere Farbenquellen hier erwähnen. Durch die Interferenz in der Erdatmosphäre löscht sich das Licht eines Sternes, wie Arago gezeigt hat, selbst aus; das Flimmern des Sternes und der Wechsel in seinen Farben, sind dieser Ursache zuzuschreiben. Sehen wir durch einen Operngucker einen solchen Stern an und schütteln das Glas, so dass das Bild des Sternes rasch über die Retina geht, so erzeugen wir eine Reihe von farbigen Perlen, deren Zwischenräume den Perioden des Auslöschens entsprechen. Feine Risse, die man in Glas oder in polirtes Metall ritzt, reflectiren die Lichtwellen an ihren Seiten; und einige, die von den entgegengesetzten Seiten derselben Furche reflectirt werden, interferiren mit einander und löschen einander aus. Bei der Neigung der reflectirten Strahlen, bei welcher die kürzeren Wellen ausgelöscht werden, werden indess die längeren nicht ausgelöscht, und daher treten Farbenerscheinungen auf. Man nennt diese die Farben der gestreiften Oberflächen. Sie zeigen sich sehr schön bei der Perlmutter. Diese Muschel besteht aus ausserordentlich dünnen Schichten, die, wenn man sie beim Poliren der Muschel durchschneidet, ihre Ränder zeigen und dazwischen die erforderlichen kleinen und regelmässigen Furchen liefern. Den entscheidenden Beweis, dass die Farben dem mechanischen Zustand der Oberfläche zuzuschreiben sind, können wir wohl in der von Brewster beobachteten Thatsache finden, dass, wenn wir die Muschel vorsichtig auf schwarzes Siegelack drücken, wir darauf die Furchen übertragen und so auch auf dem Siegelack die Farben der Perlmutter erzeugen.

Dritte Vorlesung.

Beziehung zwischen Theorie und Erfahrung. — Entstehung des Begriffs der Anziehung bei der Gravitation. — Begriff der Polarität, seine Entstehung. — Polarität der Atome. — Die Structur rührt von der Polarität her. — Bau der Krystalle, betrachtet als Einleitung zum Studium ihrer Wirkung auf das Licht. — Begriff der Polarität der Atome in Bezug auf die Krystallstructur. — Versuche. — Krystallisation des Wassers. — Ausdehnung durch Wärme und Kälte. — Das Verhalten des Wassers betrachtet und erklärt. — Einfluss der Krystallisation auf optische Erscheinungen. — Brechung. — Doppelbrechung. — Polarisation. — Wirkung des Turmalins. — Eigenschaften der aus Kalkspath austretenden Strahlen. — Polarisation bei gewöhnlicher Reflexion und Brechung. — Depolarisation.

§. 1. Ableitung der theoretischen Begriffe aus der Erfahrung.

Eine der Aufgaben, und zwar nicht die wenigst wichtige unserer letzten Vorlesung, war die Betrachtung der allmählichen Entwicklung der wissenschaftlichen Theorien. Sie entspringen zunächst in dem Wunsch des Geistes, bis zu den Quellen der Erscheinungen vorzudringen. Von seinem fast unmerklichen Urbeginn in längstverflossenen Zeiten ist dieser Wunsch zu einem gewaltigen Verlangen des Menschengeistes herangewachsen. Von ihm erfüllt, erklärte Cäsar, er wollte seine Siege für einen flüchtigen Blick auf die Quellen des

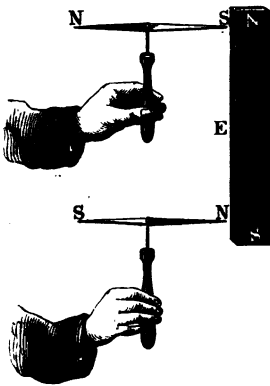
Nils hingeben; dieses Verlangen veranlasste die atomistischen Theorien des Lucrez, es führte Darwin zu den kühnen Speculationen, die in den letzten Jahren die öffentliche Meinung so aufgeregert haben. Aber in keinem Fall erschafft bei der Bildung von Theorien die Phantasie selbst ihr Material. Sie vergrössert, verkleinert, verwandelt und verarbeitet das Material, das sie der Welt der Thatfachen und der Beobachtung entnimmt.

Es zeigt sich dies besonders klar bei einer Theorie, wie der des Lichtes, wo die Bedingungen eines unfühlbaren Mediums, des Aethers, dem Geiste vorgeführt werden. Aber keine Theorie kann sich dieser Bedingung entziehen. Newton hütete sich, den Begriff der Gravitation mit unnöthigen physikalischen Vorstellungen zu erschweren, aber wir wissen, dass er sie gelten liess, ohne sie jedoch mit seiner Theorie in Verbindung zu setzen. Aber auch die gegenwärtige Theorie, sie erschloss sich dem Geiste nicht als eine von der Welt der Erfahrung losgelöste Offenbarung. Die Grundlage der Anschauung, dass die Sonne und die Planeten durch eine Anziehungskraft aneinander gehalten werden, fand man in der früheren Beobachtung, dass ein Magnet Eisen anzieht. Der Begriff der Anziehung von Masse auf Masse kam demnach von aussen, nicht von innen. In der vorliegenden Vorlesung muss die magnetische Kraft für uns die Pforte sein, durch die wir in ein nicht direct mit den Sinnen wahrnehmbares Gebiet eindringen, und dazu müssen wir zunächst ihre Elementar-Phänomene kennen lernen.

Die Haupterscheinungen des Magnetismus lassen sich am besten an magnetisirten Stahlstäben oder, wie man sie auch nennt, Magnetstäben zeigen. Stellen wir einen

solchen Magnetstab vertical auf den Tisch und nähern eine Magnetonadel dem untern Ende desselben, so entfernt sich das eine Ende der Nadel vom Magneten, während das andere sich ihm ebenso schnell nähert. Die Nadel schwingt dann unter der Einwirkung einer unsichtbaren auf sie ausgeübten Kraft. Heben wir die Nadel neben dem Magnet, wobei wir aber eine Berührung vermeiden, so nimmt die Schnelligkeit der Schwingungen ab, indem die wirkende Kraft schwächer wird. In der Mitte hören die Schwingungen auf. Jenseits der Mitte entfernt sich das Ende der Nadel, das früher vom Magnet angezogen worden war, während das entgegengesetzte Ende sich ihm nähert. Je höher wir steigen, um so lebhafter werden die Schwingungen,

Fig. 22.



da die Kraft an Stärke zunimmt. An dem oberen wie an dem unteren Ende des Magneten erreicht sie ein Maximum; aber der ganze untere Theil des Magneten von *E* bis *S* (Fig. 22) zieht das eine Ende der Nadel an, während der ganze obere Theil von *E* bis *N* das andere Ende anzieht. Diese zweifache Wirkung der magnetischen Kraft bezeichnet man mit dem

Namen der „Polarität“, und die Punkte an den Enden des Magneten, wo diese Kräfte gleichsam concentrirt erscheinen, heissen die „Pole“.

Was tritt nun aber ein, wenn wir den Magneten in der Mitte *E* entzweibrechen? Werden wir zwei Magnete erhalten, jeden mit einem einzelnen Pol? Nein;

jede Hälfte ist selbst ein vollkommener Magnet und hat zwei Pole. Es lässt sich dies leicht durch Zerbrechen eines weniger werthvollen Magneten, als des vorliegenden, etwa einer gehärteten und magnetisirten Stricknadel nachweisen. Sie wirkt wie ein Magnet. Zerbrochen wirken beide Hälften wie die ganze Nadel; und zerbrechen wir die Theile wieder, so erhalten wir wieder vollständige Magnete, die wiederum zwei Pole besitzen. Treiben Sie dieses Zerbrechen bis zur äussersten sinnlichen Grenze, so brauchen Sie auch dort noch nicht aufzuhören. Durch den aus dieser Beobachtung gezogenen Schluss werden Sie unfehlbar über die Grenzen der Sinne hinausgeführt und gezwungen, anzunehmen, dass diese Kraft, die wir magnetische Polarität nennen, sich bis in den letzten Theilchen des Stahles vorfindet. Sie kommen zu dem Schluss, dass jedes Molekül des Magneten diese polare Kraft besitzt.

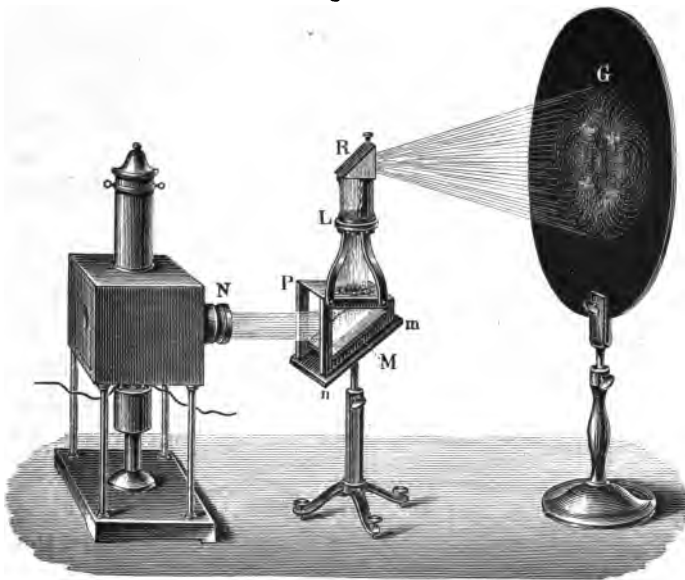
Wie alle anderen Kräfte, ist auch die magnetische mechanischen Gesetzen unterworfen; so dass wir, wenn wir ihre Grösse und Richtung kennen, ihre Wirkung vorhersagen können. Bringen wir eine Magnetnadel in die Nähe eines Magnetstabes, so nimmt sie eine ganz bestimmte Lage ein, und zwar lässt sich dieselbe aus der Wechselwirkung der Pole theoretisch bestimmen. Bewegen wir die Nadel rings um den Magnetstab, so entspricht jedem Punkt im Raume eine einzige bestimmte Lage der Nadel. Bei einer Eisennadel würden sich die Verhältnisse ganz ähnlich gestalten, da sie sich unter dem Einfluss des Magneten magnetisirt und sich dann ebenso, wie eine vorher magnetisirte Stahlnadel, verhält.

Bringen wir zwei oder mehrere Eisennadeln in die Nähe eines Magneten, so compliciren sich die Verhältnisse, da dann auf jede Nadel nicht nur der Magnet,

sondern auch alle anderen Nadeln wirken. Gehen wir zu noch kleineren Eisenstücken, etwa Eisenfeilen, über, so verhalten sie sich ebenso, wie die Nadeln, und ordnen sich unter dem Einfluss des Magnetismus in bestimmten Figuren an.

Lege ich ein Blatt Papier oder eine Glasplatte über einen Magnetstab und streue Eisenfeile auf das Papier,

Fig. 23.



N ist die Oeffnung der Lampe, *M* ein ebener Spiegel, der den Strahl aufwärts wirft, bei *P* liegen die Magnete und die Eisenfeile, *L* ist eine Linse, die ein Bild derselben entwirft, und *R* ein total reflectirendes Prisma, welches das Bild *G* auf den Schirm wirft.

so zeigt sich das Bestreben der Eisenfeile, sich in bestimmten Linien anzuordnen. In Folge der Reibung am Papier können sie diesem Bestreben nicht frei folgen. Schlägt man auf das Papier, so hilft man ihnen, jeder Schlag befreit sie auf einen Augenblick von der Reibung

und sie können ihrer Neigung folgen. Das Ergebniss dieses Versuches kann ich aber nur allein sehen. Um es Ihnen Allen zu zeigen, nehme ich ein Paar kleine Magnete und entwerfe durch eine einfache optische Vorrichtung (Fig. 23, a. v. S.) ein vergrössertes Bild derselben auf dem Schirm. Streue ich Eisenfeile über die Glasplatte, an der die kleinen Magnete befestigt sind und erschüttere die Platte, so sehen Sie, wie die Eisentheilchen sich in den magnetischen Curven anordnen, die den Gelehrten schon seit lange bekannt sind.

Durch eine sehr sinnreiche Erfindung gelang es Professor Mayer in Hoboken, die magnetischen Curven zu fixiren und zu photographiren. Seiner Liebenswürdigkeit verdanke ich die angefügte schöne Darstellung derselben (Fig. 24).

Der Anblick dieser Curven fesselte Faraday dermaassen, dass er den grösseren Theil seines geistigen Forschens dem Grübeln über dieselben widmete. Er dachte sich den Raum, in dem sie sich bilden, von einer Art Materie erfüllt, und wahrscheinlich wird sich beim Fortschreiten der Wissenschaft bei der Verbindung der Erscheinungen des Magnetismus mit denen des Lichtäthers ergeben, dass diese Kraftlinien, wie sie Faraday zu nennen liebte, einen Zustand dieses geheimnissvollen Substrates aller strahlenden Wirkungen darstellen.

Wir wollen aber nicht die magnetischen Curven an und für sich, sondern ihre Beziehungen zu theoretischen Begriffen besprechen. Durch die Wirkung eines Magnetstabes auf eine Magnetnadel erhalten wir einen Begriff von einer polaren Kraft; durch das Zerbrechen eines magnetisirten Stahlstückes erkennen wir, dass die Polarität mit den letzten Theilchen der Materie verbunden sein kann. Der Versuch mit Eisenfeilen führt

Fig. 24.



den Geist zu einer neuen Anschauung, nämlich zu der der Structur. Je zwei der Eisenfeilspähne besitzen vier Pole, zwei anziehende und zwei abstossende. Die anziehenden nähern sich, die abstossenden entfernen sich von einander; hieraus ergiebt sich aber eine bestimmte endgültige Anordnung der Theilchen.

§. 2. Theorie der Krystallisation.

Dieser Gedanke der Structur, die durch polare Kräfte erzeugt wird, eröffnet dem Geist den Weg in eine ganz neue Region und ich bitte Sie, mir in diese Region zu folgen, da unsere nächste Untersuchung sich der Wirkung der Krystalle auf das Licht zuwenden wird. Ehe ich aber diese Wirkung bespreche, möchte ich Ihnen zunächst den Aufbau der Krystalle veranschaulichen. Betrachten Sie einen Granitblock und verweilen Sie einen Augenblick bei der Untersuchung des Gesteines. Der Granit besitzt keine ganz gleichförmige Textur. Er besteht vielmehr aus einer Zusammenhäufung von Stücken, die bei genauerer Prüfung eigenthümliche Formen zeigen. Sie finden darin das, was die Mineralogen Quarz, und das, was sie Feldspath, und das, was sie Glimmer nennen. In einem Mineralien cabinet, wo diese Substanzen einzeln aufbewahrt werden, können Sie sich eine genauere Kenntniss von ihren Formen verschaffen. Sie sehen dort ferner Exemplare von Beryll, Topas, Smaragd, Turmalin, Schwerspath, Flusspath, Kalkspath, vielleicht auch einen vollständig ausgebildeten Diamant, wie ihn die Natur geschaffen hat, ehe er in die Hände des Steinschleifers gekommen ist.

Diese Krystalle sind, wie Sie bemerken werden, nach einem bestimmten Gesetz zusammengefügt; es sind

keine zufälligen Bildungen, und wenn Sie sie genauer untersuchen, so werden Sie finden, dass ihre Architektur bis zu einem gewissen Grade enträthelt werden kann. Sie lassen sich nach gewissen Richtungen mit dem Messer spalten, wobei sich dann glatte und glänzende Flächen, sogenannte Spaltungsflächen, zeigen; verfolgen Sie diese Flächen, so gelangen Sie zu Grundformen, die unter der äussern Form des Krystalles verborgen sind. Betrachten Sie diese wunderbaren Gebäude eines unbekannten Baumeisters. Unwillkürlich drängt sich Ihnen die Frage danach auf, wie sie erbaut wurden; und da Ihnen jetzt die Anschauung einer polaren Kraft nicht mehr fremd ist und Sie wissen, dass eine solche eine structurale Anordnung hervorrufen kann, so werden Sie unfehlbar antworten, dass diese Krystalle durch das Spiel polarer Kräfte, die ihre Moleküle besitzen, erbaut worden sind. In Folge dieser Kräfte legt sich nach ganz bestimmten Gesetzen Molekül neben Molekül, indem die endliche sichtbare Form des Krystalles nur von der Anordnung der letzten Theilchen abhängt.

Ueberall beobachten wir in der Natur das Bestreben, bestimmte Gestalten anzunehmen, und nichts ist leichter, als dieses Bestreben durch künstliche Versuche zur Anschauung zu bringen. Man löse Salpeter in Wasser und lasse das letztere langsam verdunsten; der Salpeter bleibt zurück und die Lösung wird so concentrirt, dass der flüssige Zustand nicht länger bestehen kann. Die Salpetermoleküle nähern sich einander und kommen endlich in den Bereich ihrer polaren Kräfte. Diesen Kräften gehorsam ordnen sie sich, und ein ganz kleiner Krystall von Salpeter wird zunächst gebildet. Auf diesem lagern sich dann die Moleküle aus der umgebenden Flüssigkeit ab. Der Krystall wächst, und endlich

erhalten wir grosse Prismen von Salpeter, jedes von einer vollständig bestimmten Gestalt. Alaun krystallisirt sehr leicht auf eben dieselbe Art. Der resultirende Krystall unterscheidet sich indess in seiner Gestalt von dem des Salpeters, da in beiden die Pole der Moleküle verschieden angeordnet sind. Wenn Krystalle von solchen Substanzen mit genügender Sorgfalt aufgezogen werden, so können sie bis zu beträchtlicher Grösse anwachsen.

Die Bedingung zur vollständigen Ausbildung der Krystalle ist, dass die Krystallisationskraft langsam wirken kann. Es darf dabei keine Ueberstürzung eintreten, sondern jedes Molekül muss ungestört von seinen Nachbarn sein eigenes Molekularrecht ausüben können. Erfolgt die Krystallisation zu schnell, so verschwindet die Regelmässigkeit. Wasser kann mit Glaubersalz gesättigt werden, es löst sich auf, wenn das Wasser heisse ist und wird nachher abgekühlt. Abgekühlt ist die kalte Lösung übersättigt, d. h. sie enthält mehr Substanz gelöst, als eigentlich ihrer Temperatur entspricht. Und doch zeigen die Moleküle kein Zeichen einer Aneinanderlagerung.

Es ist dies eine, wenn auch sehr gewöhnliche, doch sehr eigenthümliche Thatsache. Die Moleküle im Innern der Flüssigkeit sind derart von ihren Nachbarn festgehalten, dass sie ihrem eigenen Bestreben nicht freifolgen können. Richten Sie Ihre Aufmerksamkeit auf ein Molekül in der Gesamtmasse. Es möchte sich gern mit seinen Nachbarn zur Rechten verbinden, aber ebenso mit denen zu seiner Linken; so vereinigt es sich mit keinem von beiden. Wird aber ein Krystall von Glaubersalz in die Lösung getaucht, so hört die Unschlüssigkeit der Moleküle auf. Die dem Krystall nächstliegenden Moleküle werden sich sogleich auf ihm niederschlagen;

auf diese werden wieder andere niederfallen und es wird sich dies durch das ganze Gefäß fortsetzen, bis die ganze Flüssigkeit, so weit es möglich ist, feste Form angenommen hat. Die hierbei erzeugten Krystalle sind klein und liegen wirr durcheinander. Der Process ist zu schnell vor sich gegangen, um die Krystallisationskraft rein und geordnet zur Wirkung kommen zu lassen. Es entspricht dem Zustand einer Nation, in der man sich einer natürlichen und wohlthätigen Veränderung so lange widersetzt hat, bis die Gesellschaft mit dem Wunsch nach Veränderung gleichsam übersättigt ist; dann tritt diese plötzlich durch Unordnung und Revolution ein.

Gestatten Sie mir, Ihnen die Wirkung der Krystallisationskraft an zwei Beispielen zu zeigen: Ich könnte Salpeter anwenden; eine andere wohlbekannte Substanz eignet sich aber besser für diesen Versuch. Es ist dies in Wasser gelöster Salmiak oder Chlorammonium. Ich reinige eine Glasplatte vollkommen, giesse eine Lösung des Salzes darauf und lasse dieselbe dann abtropfen, so dass nur eine dünne Schicht der Flüssigkeit haften bleibt. Erwärme ich nun das Glas schwach, so tritt eine Verdampfung ein, der jedoch nur das Wasser unterliegt. Ich bringe jetzt die Platte in ein Sonnenmikroskop und werfe ein Bild der Flüssigkeitsschicht auf einen weissen Schirm. Durch die Wärme der erleuchtenden Strahlen wird die Verdampfung so beschleunigt, dass binnen sehr kurzer Zeit das gelöste Salz nicht mehr in flüssiger Form bestehen kann. Molekül lagert sich an Molekül, und Sie sehen deutlich, wie sich die Krystallisation über den ganzen Schirm verbreitet. Etwas Aehnliches können Sie beobachten, wenn Sie im Winter auf die Eisblumen an den Fenstern hauchen und dann mit einem Vergrößerungsglase das Wiedergefrieren des Wassers beobachten.

In diesem Fall ist die Krystallisationskraft durch die Adhäsion der Flüssigkeit am Glas gehindert, nichtsdestoweniger zeigt sich ihr Spiel sehr schön. Oft gehen die Krystalle von einer Ecke der Schicht aus und durchlaufen sie von dort aus; denn wenn einmal die Krystallisation begonnen hat, so lagern sich die Moleküle am liebsten auf den bereits gebildeten Krystallen ab. Oft geht die Krystallisation von bestimmten Punkten im Innern der Flüssigkeit aus; indem jedes in der Flüssigkeit befindliche krystallinische Theilchen einen Ausgangspunkt für die Krystallisation bildet. Während des ganzen Processes beobachten Sie aber eine Erscheinung, die vollständig constant bleibt: die Grösse der Winkel. Die Zweige entspringen aus dem Stamm und von diesen Zweigen gehen wieder andere aus; aber die von den Zweigen gebildeten Winkel sind unveränderlich. Ebenso können Sie Alaunkrystalle, Quarzkrystalle und alle anderen Krystalle in die verschiedenartigsten Formen verzerrt finden. Soweit unterliegen sie den Zufälligkeiten der Krystallisation, aber in einem Punkt sind sie über alle Zufälligkeiten erhaben. Die Grösse der Winkel ist stets genau dieselbe.

Mein zweites Beispiel für die Wirksamkeit der Krystallisationskraft ist folgendes: Sie wissen, dass, wenn wir durch eine Flüssigkeit einen galvanischen Strom leiten, die Flüssigkeit zersetzt wird, und dass, wenn sie ein Metall enthält, dieses elektrolytisch abgeschieden wird. Dieses kleine Gefäss enthält eine Lösung von essigsaurem Blei (Bleizucker); sie wurde für unseren Zweck gewählt, weil sich das Blei sehr leicht in Krystallen anordnet. In das Gefäss tauchen zwei sehr dünne Platindrähte, die durch andere Drähte mit einer kleinen Volta'schen Säule verbunden sind. Leiten wir den

Strom durch die Lösung, so wird das Blei von den Atomen, mit denen es bis jetzt verbunden war, langsam abgelöst; es wird sich auf einem der beiden Drähte ausscheiden und im Augenblick der Ausscheidung den polaren Kräften seiner Atome folgen und krystallinische Formen von ausgezeichneter Schönheit erzeugen. Sie sehen sie jetzt; wie Farnkräuter aus dem Drahte hervorspriessend, erscheinen sie wie Pflanzen, deren Wachsthum so schnell ist, dass es dem Auge sichtbar wird. Kehren wir den Strom um, so löst sich das schöne Bleilaub auf, während von dem andern Draht Bleifäden in die Flüssigkeit hineinschiessen. Das Wachsen der Bleibäume beginnt von Neuem, doch diesmal bedecken sie den andern Draht.

Bei dem Krystallisationsprocess enthüllt sich die Natur zuerst als Baumeister. Wo hört ihre Thätigkeit auf? Bildet sie mit denselben Kräften die Pflanze und dann das Thier? Welches auch die Antwort auf diese Fragen sein mag, das glauben Sie mir, die Anschauungen der späteren Generationen über das geheimnissvolle Wesen, das Manche „rohe Materie“ genannt haben, werden ganz andere sein, als die der früheren Generationen.

Es giebt kaum ein schöneres und lehrreicherer Beispiel für dieses Spiel der Molekularkräfte, als dasjenige, das uns das Wasser zeigt. Sie haben die prächtigen farnartigen Gebilde gesehen, die sich bei der Krystallisation einer dünnen Wasserschicht auf einer kalten Fensterscheibe bilden ¹⁾. Sie haben wahrscheinlich auch die schönen Rosetten beobachtet, die während eines

¹⁾ Die schönen Federn, die die Krystallisation des Wassers bildet, wurden von Professor Lockett in sehr vollkommener Weise photographirt.

Tyndall, Das Licht.

Schneefalles an einem recht ruhigen Tag durch die Krystallisationkraft an einander gefesselt sind. Die Hänge und Gipfel der Alpen sind im Winter mit diesen Eisblüthen bedeckt. Die Einzelheiten sind unendlich mannigfaltig in ihrer Schönheit, aber die Grösse der Winkel bleibt stets dieselbe; eine unveränderliche Kraft verbindet die Speere und Nadeln unter Winkeln von 60° .

Auch in der Ablagerung des gewöhnlichen Eises auf unseren Seen herrscht derselbe Winkel. Sie können zuweilen in gefrierendem Wasser kleine sternförmige Krystalle beobachten; jeder Stern besteht aus sechs Strahlen, die Winkel von 60 Grad unter einander bilden. Dieselbe Structur finden wir auch im gewöhnlichen Eise wieder. In einem Sonnenstrahl oder in Ermangelung desselben in unserm elektrischen Strahl besitzen wir ein Instrument, das zart genug ist, um die gefrorenen Moleküle von einander zu lösen, ohne doch ihre Architektur zu zerstören. Schneiden wir aus klarem, unversehrtem, regelmässig gefrorenem Eise eine Platte parallel zu den Gefrierungsflächen und senden einen Sonnenstrahl durch solch eine Platte, so schmilzt er das Eis im Innern an einzelnen Punkten, und um jeden derselben bildet sich eine prächtige sechsblättrige Wasserblume. So können unzählige derartige Blumen gebildet werden. In einem Eiskeller finden wir manchmal Eisstücke, die trübe Stellen in der sonst continuirlich klaren Masse zeigen; untersuchen wir die Ursache dieser Trübung, so finden wir, dass sie von Myriaden sechsblättriger Blumen herrühren, in die das Eis nur durch die zugeleitete Wärme aufgelöst worden ist.

Es lohnt sich, noch einen Augenblick bei der Krystallisation des Wassers zu verweilen; denn die Fülle der Eigenschaften, durch welche diese Substanz eine so wich-

tige Rolle in der Natur zu spielen vermag, muss unsere Bewunderung erregen und unsern Geist anspornen. Wie fast alle anderen Substanzen dehnt sich das Wasser bei der Erwärmung aus und zieht sich bei der Abkühlung zusammen. Lassen Sie uns zunächst diese Ausdehnung und Contraction betrachten.

Eine kleine Flasche ist mit gefärbtem Wasser gefüllt und mit einem Kork verstopft. Durch den Kork geht wasserdicht ein Glasrohr, so dass letzteres bis zu einer bestimmten Höhe mit Flüssigkeit gefüllt ist. Die Flasche und Röhre entsprechen der Kugel und der Röhre eines Thermometers. Erwärmen wir das Wasser durch eine Spirituslampe, so steigt es in dem Rohr und tritt zuletzt durch dessen oberes Ende aus. So macht sich die Ausdehnung durch die Wärme bemerkbar.

Entfernen wir nun die Lampe und umgeben die Flasche mit einer Kältemischung, so fällt die Flüssigkeitssäule und zeigt dadurch die Contraction des Wassers in Folge der Abkühlung an. Wirkt die Kältemischung weiter, so sinkt die Wassersäule bis zu einem bestimmten Punkt; dann hört sie auf zu sinken. Ihr oberes Ende bleibt einige Secunden stehen, um dann wieder zu steigen. Die Contraction hat aufgehört und Ausdehnung durch Abkühlung tritt ein. Wir lassen die Ausdehnung andauern, bis die Flüssigkeit zum zweiten Mal über das Ende des Rohres tritt. Die Kältemischung hat allem Anschein nach ebenso wie die Flamme gewirkt. Bei dem Wasser hört bei 4° Celsius die Contraction durch die Abkühlung auf und fängt die Ausdehnung durch dieselbe an. Die Krystallisation hat hier im Verborgenen begonnen, indem sich die Moleküle zu dem bei 0° erfolgenden Act des Festwerdens vorbereiten, bei dem dann auch das Maximum der Ausdehnung erreicht wird. In Folge dieser

Ausdehnung ist, wie Sie wissen, Eis im Verhältniss von 8:9 leichter als Wasser¹⁾).

Ein höchst interessantes Problem der Molekularphysik kommt hier mit ins Spiel und ich möchte Ihnen eine mögliche Lösung des Problems vorlegen.

Denken Sie sich eine Anzahl idealer Magnete, die ihr Gewicht verloren hätten, aber ihre polaren Kräfte beibehalten haben. Hätten wir eine bewegliche Flüssigkeit von dem specifischen Gewicht des Stahles, so könnten wir, wenn wir die Magnete darin schwimmen liessen, den obigen Fall verwirklichen; denn in einer solchen Flüssigkeit würden die Magnete weder sinken noch schwimmen. Nach dem Newton'schen Gravitationsgesetz zieht aber ein materielles Theilchen ein anderes mit einer Kraft an, die sich umgekehrt mit dem Quadrat der Entfernung ändert. In Folge der Gravitation werden sich demnach die Magnete, wenn sie vollkommen frei beweglich sind, einander langsam nähern.

Aber ausser der nichtpolaren Kraft der Gravitation, die aller Materie zukommt, besitzen die Magnete noch

¹⁾ In einem kleinen Werke, „The forms of water“, habe ich erwähnt, dass kaltes Eisen auf geschmolzenem Eisen schwimmt. Gemeinsam mit meinem Freund Armstrong hatte ich Gelegenheit, diese Thatsache in seinem Eisenwerk zu Elswick 1863 zu beobachten. Faraday äusserte, wie ich mich erinnere, mir gegenüber später die Meinung, dass die Vollkommenheit der Eisenabgüsse wahrscheinlich von der Ausdehnung des Metalls beim Erstarren herühre. Ich habe diesem Gegenstand keine weitere Aufmerksamkeit geschenkt, und ich weiss, dass manche tüchtige Eisengiesser an der Ausdehnung zweifeln. Es ist ebenso gut möglich, dass die festen Stücke schwimmen, weil sie nicht vom geschmolzenen Eisen benetzt werden und so ihr Volumen durch capillare Abstossung vermehrt wird. Gewisse Wasserspinnen laufen in Folge einer solchen Wirkung über das Wasser, ohne unterzusinken. Wismuth dagegen kann leicht durch seine Ausdehnung beim Erstarren eiserne Flaschen zersprengen.

die polare Kraft des Magnetismus. Auf kurze Zeit kommen die polaren Kräfte nicht merklich ins Spiel. In diesem Zustand gleichen die Magnete unseren Wassermolekülen bei der Temperatur von etwa 50° . Endlich kommen die Magnete einander so nahe, dass ihre Pole wirken können. Von diesem Augenblick an hört die Erscheinung auf, eine allgemeine Massenattraction zu sein. Eine Anziehung gewisser Punkte und eine Abstossung anderer kommt ins Spiel, und es ist klar, dass die Anordnung der Magnete in Folge dieser Kräfte eine derartige sein kann, dass sie einen grössern Raum in Anspruch nehmen. Ich denke, dies wird der Fall mit unseren Wassermolekülen sein. Wie unsere idealen Magnete nähern sie sich einander eine Zeit lang als Ganzes. Schon bevor sie die Temperatur von 4° erreichen, beginnen zweifellos die polaren Kräfte zu wirken, es wird aber ihre Wirkung bei dieser Temperatur gerade durch die Contraction in Folge der Abkühlung compensirt. Bei niederen Temperaturen überwiegen die polaren Kräfte, so weit sie Aenderungen des Volumens bedingen. Aber sie kämpfen mit der Contraction bis zum Gefrierpunkt. Dann schliessen sich die Moleküle zu festen Krystallen an einander; eine beträchtliche Volumenvermehrung ist die unmittelbare Consequenz.

§. 3. Einfache Strahlenbrechung des Lichtes durch die Wellen-Theorie erklärt.

Wir müssen nun den Einfluss dieser Krystallisation auf die optischen Erscheinungen untersuchen. Nach der Undulationstheorie ist die Geschwindigkeit des Lichtes im Wasser und Glas geringer, als in der Luft. Bewegt

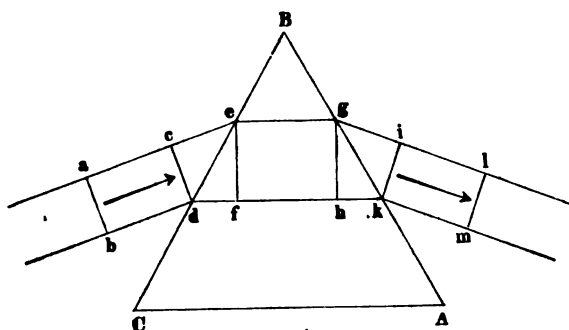
sich ein kleiner Theil einer Welle, die von einem so weit entfernten Lichtpunkt ausgeht, dass wir jenen Theil der Welle als eben ansehen können, vertical nach unten und trifft auf eine horizontale Wasser- oder Glasfläche, so schreitet sie in diesem Medium ohne Richtungsänderung fort. Da aber die Geschwindigkeit im Glas und Wasser geringer ist, als in der Luft, so wird die Welle beim Eintritt in das dichtere Medium eine Verzögerung erleiden.

Nehmen wir aber an, dass die Welle, die das Glas trifft, gegen seine Oberfläche geneigt ist, dann wird das Ende der Welle, welches das Medium zuerst trifft, auch zuerst verzögert werden, während dies bei den übrigen Theilchen erst später eintritt. Man sieht nun leicht ein, dass diese Verzögerung des einen Endes der Welle eine Schwenkung derselben hervorbringen und sie ihre Front ändern muss, so dass, wenn sie ganz in das Glas eingetreten ist, ihre Richtung gegen die ursprüngliche geneigt ist. Nach der Undulationstheorie wird das Licht auf diese Weise gebrochen.

Geleitet von diesen Betrachtungen wollen wir den Weg eines monochromatischen Lichtstrahles durch ein Glasprisma verfolgen. Die Geschwindigkeiten des Lichtes in Luft und Wasser verhalten sich wie 3:2. ABC (Fig. 25) sei der Querschnitt unseres Prismas, und ab der Querschnitt einer ebenen Welle, die sich in der Richtung des Pfeiles dem Prisma nähert. Wenn sie cd erreicht, so tritt das eine Ende d der Welle gerade in das Glas ein, und während sich der in der Luft befindliche Theil der Welle um ce fortbewegt, durchläuft die Welle im Glase nur zwei Drittel dieses Weges, nämlich df . Die Linie ef bezeichnet jetzt die Wellenfront. Während sie sich ganz im Glas be-

findet, gelangt sie bis nach gh , wo das Ende g der Welle gerade in die Luft austritt. Während nun das Ende h der Welle von h bis k gelangt, erreicht das sich in der Luft schneller bewegende Ende g den Punkt i . Die Welle hat demnach wiederum ihre Front geändert, so dass sie nach dem Austritt aus dem Prisma sich gegen lm hin in der Richtung des Pfeiles fortbewegt. Die Brechung des Strahls wird so vollständig erklärt und die Erklärung beruht überdies auf thatsächlichen

Fig. 25.



Versuchen, die beweisen, dass das Verhältniss der Geschwindigkeiten des Lichtes in Glas zu seiner Geschwindigkeit in Luft das oben erwähnte ist. Offenbar würde, wenn die Aenderung der Geschwindigkeit beim Uebergang aus Luft in Glas grösser wäre, auch die Brechung eine stärkere sein.

§. 4. Doppelte Strahlenbrechung des Lichts durch die Wellen-Theorie erklärt.

Die beiden Elemente, von denen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit, sowohl des Lichtes, wie des Schalles, abhängt, sind die Elasticität und die Dichte; die

Geschwindigkeit nimmt mit der ersteren zu und mit der letzteren ab. Die ungeheure Geschwindigkeit des Lichtes im Weltenraum rührt von der äusserst geringen Dichtigkeit und der ungeheuren Elasticität des Aethers her.

Der Aether umgibt die Atome aller Körper, ist aber nicht unabhängig von denselben. In der ponderablen Materie wirkt er, wie wenn seine Dichte vergrössert wäre, ohne dass jedoch seine Elasticität eine entsprechende Vermehrung erlitten hätte; es ergibt sich daraus die verminderte Geschwindigkeit des Lichtes in brechenden Medien. Wir sind hier an einem äusserst wichtigen Punkt angelangt. In Folge des früher erwähnten krystallinischen Baues besitzt der Aether in vielen Krystallen verschiedene Dichten und verschiedene Elasticitäten in verschiedenen Richtungen. Daraus folgt, dass sich das Licht in solchen Krystallen mit verschiedener Geschwindigkeit fortpflanzt. Da aber die Brechung vollständig von der Aenderung der Geschwindigkeit beim Eintritt in das brechende Medium abhängt und da am stärksten ist, wo der Wechsel der Geschwindigkeit am grössten ist, so haben wir in vielen Krystallen zwei verschiedene Brechungen. Durch solche Krystalle wird ein Lichtstrahl in zwei getheilt. Diese Erscheinung nennt man Doppelbrechung.

Bei dem gewöhnlichen Wasser z. B. liegt kein Grund in der Anordnung der Moleküle vor, warum die vollständige Homogenität des Aethers gestört werden sollte; wenn aber das Wasser zu Eis krystallisirt, so gestaltet sich die Sache anders. In einer Eisplatte ist die Elasticität des Aethers senkrecht zur Gefrierungsfläche eine andere als parallel zu derselben; Eis ist demnach ein doppelbrechender Körper. Eine besonders starke Doppel-

brechung zeigt Doppelspath oder krystallisirter kohlensaurer Kalk. Die Verschiedenheit der Dichte des Aethers nach zwei verschiedenen Richtungen ist bei diesem Krystall besonders gross; die Theilung des Strahles in zwei Hälften lässt sich daher auch besonders gut beobachten.

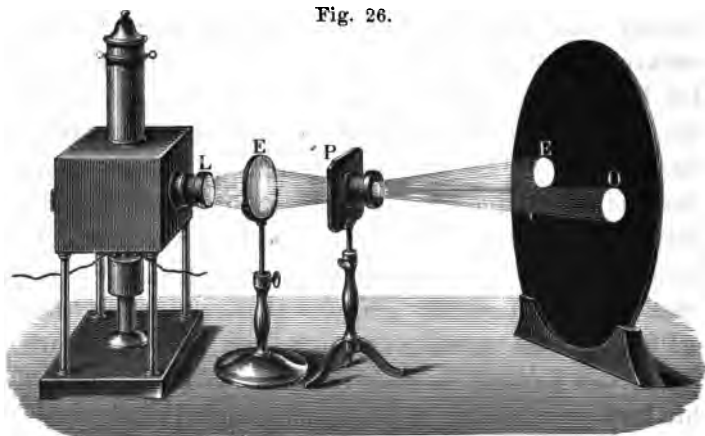
Ich möchte diese Frage nicht eher verlassen, ehe sie Ihnen nicht vollständig klar geworden ist. Da die Schwingungen des Lichtes transversal sind, so kommt bei der Untersuchung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit irgend eines Strahles die Elasticität in Betracht, die senkrecht zur Richtung der Bewegung vorhanden ist. Im Doppelspath giebt es eine Richtung, um die herum die Krystallmoleküle symmetrisch aufgebaut sind. Diese Richtung heisst die Axe des Krystalls. In Folge dieser Symmetrie ist die Elasticität rings um diese Axe die gleiche, und daher erfährt ein parallel der Axe hindurchgehender Strahl keine Doppelbrechung. Längs der Axe aber ist die Elasticität grösser, als senkrecht zu derselben. Betrachten wir nun ein System von Wellen, die durch den Krystall in einer Richtung senkrecht zur Axe hindurchgehen. Die Schwingungen in diesen Wellen können nach zwei Richtungen stattfinden: Die Aethertheilchen können parallel oder senkrecht zur Axe schwingen. Es geschieht beides und es theilen sich die Wellen in zwei Systeme, die sich mit verschiedenen Geschwindigkeiten fortpflanzen. Doppelbrechung ist die nothwendige Folge.

Mittelst eines passend geschnittenen Doppelspathes lässt sich leicht die Doppelbrechung zeigen. Sie sehen jetzt eine Projection unserer Kohlenspitzen vor sich. Lassen wir den Strahl, der das Bild erzeugt, durch den Doppelspath gehen, so theilt sich das Bild sogleich in zwei. Projiciren wir mittelst der Linse *E* (Fig. 26, a. f. S.)

ein Bild der Oeffnung *L*, durch die das Licht aus der elektrischen Lampe austritt und schalten wir den Spath *P* ein, so erscheinen sogleich zwei helle Kreise, *E* und *O*, statt eines auf dem Schirme.

Die beiden Strahlen, in die der Doppelspath den einfach einfallenden Strahl theilt, sind auf das Genaueste untersucht worden. Sie verhalten sich nicht gleich. Der eine von ihnen gehorcht dem gewöhnlichen von Snell

Fig. 26.



entdeckten Brechungsgesetz und heisst deshalb auch der ordentliche (ordinäre) Strahl; sein Brechungsindex ist 1,654. Der andere Strahl gehorcht diesem Gesetz nicht. So ist sein Brechungsexponent z. B. nicht constant, sondern ändert sich von einem Maximum 1,654 bis zu einem Minimum 1,483; auch liegen der einfallende und der gebrochene Strahl nicht immer in einer Ebene. Er heisst deshalb auch der ausserordentliche (extraordinäre) Strahl. Im Kalkspath ist, wie eben erwähnt, der ordentliche Strahl der stärker gebrochene. Eine Folgerung hieraus verdient Beachtung. Giessen

Sie Wasser und Schwefelkohlenstoff in zwei Gefässe von derselben Tiefe, so wird Ihnen das, welches die stärker brechende Flüssigkeit enthält, weniger tief erscheinen. Legen Sie einen Doppelspath auf einen Tintenfleck, so sehen Sie zwei Flecke, von denen der eine dem Auge näher erscheint, als der andere. Der zunächst liegende Fleck rührt von dem stärker gebrochenen Strahl her, ebenso wie der zunächst liegende Gefässboden der am stärksten brechenden Flüssigkeit entspricht. Drehen Sie den Spath, so dreht sich das extraordinäre Bild des Fleckes um das ordinäre, das seine Lage unverändert beibehält. Ebenso verhalten sich unsere beiden Kreise auf dem Schirm.

§. 5. Polarisation des Lichtes durch die Wellen-Theorie erklärt.

Erasmus Bartholinus behandelte zuerst in einem 1669 publicirten Werk die Doppelbrechung des Doppelspathes. Huygens suchte dies Phänomen aus der Wellentheorie zu erklären, was ihm auch gelang. Er machte ferner höchst wichtige Beobachtungen über den verschiedenen Charakter der beiden durch den Spath gegangenen Strahlen, doch gab er mit grosser Bescheidenheit zu, dass er das Problem nicht gelöst habe und dass er seine Lösung späteren Zeiten überlassen müsse. Newton kam beim Nachdenken über die Huygens'schen Beobachtungen zu dem Schluss, dass jeder der beiden durch den Doppelspath gegangenen Strahlen zwei Seiten zeige; und wegen der Analogie dieser „Zweiseitigkeit“ mit der „Zweiendigkeit“ eines Magnetes, worin seine Polarität besteht, wurden die beiden Strahlen später als „polarisirte“ beschrieben.

Wir untersuchen die Polarisation des Lichtes am leichtesten und besten mittelst eines Krystalles von Turmalin. Doch müssen wir zuerst eine klare Vorstellung von einem gewöhnlichen Lichtstrahl haben. Erklärt ist schon worden, dass die Schwingungen der einzelnen Aethertheilchen senkrecht zur Richtung der Fortpflanzung erfolgen. Im gewöhnlichen Licht denken wir uns die Aethertheilchen nach allen Richtungen oder, wie man auch sagt, nach allen Azimuthen senkrecht zu der Richtung der Strahlung schwingend.

Wenn nun ein Lichtstrahl auf eine parallel der Krystallaxe geschnittene Turmalinplatte fällt, so theilt er sich in zwei; die Schwingungen in dem einen dieser Strahlen finden senkrecht zu der Krystallaxe, in dem anderen parallel zu derselben statt. Die Gruppierung der Moleküle und des mit den Molekülen verbundenen Aethers bewirkt, dass alle in den Krystall eintretenden Schwingungen sich nach diesen zwei Richtungen zerlegen. Der eine dieser beiden Strahlen, und zwar der, in dem die Schwingungen senkrecht zu der Axe stattfinden, wird sehr schnell vom Turmalin absorbirt. Für solche Schwingungen sind manche Exemplare des Krystalles in hohem Grade undurchlässig, so dass, wenn das Licht durch eine sehr dünne Turmalinplatte gegangen ist, alle Schwingungen des austretenden Lichtes in einer einzigen Ebene stattfinden. Wir nennen es dann geradlinig polarisirtes Licht.

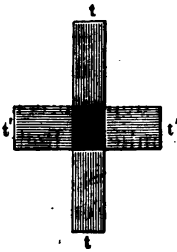
Eine kurze Ueberlegung zeigt, wenn die obige Behauptung richtig ist, dass, wenn wir eine zweite Turmalinplatte, deren Axe parallel der Axe der ersteren ist, hinter der ersten anbringen, das Licht durch beide hindurchgehen wird; dass aber, wenn die Axen gekreuzt sind, das von der einen Platte hindurchgelassene Licht

von der anderen abgefangen wird, so dass eine vollständige Auslöschung des Lichtes eintritt. Wir wollen diesen Schluss durch einen Versuch bestätigen. Sie sehen jetzt das Bild der Turmalinplatte tt (Fig. 27) vor sich. Ich lege vor dieselbe ihr parallel eine zweite tt' . Es wird nur das Grün des Krystalles etwas dunkler, was mit unserem Schluss übereinstimmt. Vermittelt einer Schraube ohne Ende drehe ich den einen Krystall allmählich herum, und Sie sehen, dass, so lange die

Fig. 27.



Fig. 28.



Platten gegen einander geneigt sind, etwas Licht hindurchgeht; dass aber, sobald sie einen rechten Winkel mit einander bilden, der beiden gemeinsame Raum dunkel ist (vergl. Fig. 28). Hiermit ist also unsere Schlussfolgerung, zu der wir vor dem Experiment gekommen sind, vollkommen bestätigt.

Lassen Sie uns jetzt zu einer einzigen Platte zurückkehren. Ich ersuche Sie, dabei Ihre Aufmerksamkeit auf das grüne, vom Turmalin durchgelassene Licht zu richten. Wir müssen hier die Zweiseitigkeit des grünen Lichtes im Gegensatz zu der Allseitigkeit des gewöhnlichen Lichtes zeigen. Das weisse Licht, das das grüne Bild umgiebt und aus gewöhnlichem Licht besteht, wird von einem ebenen Glasspiegel in allen Richtungen reflectirt, das grüne Licht dagegen nicht. Das Bild des Turmalins ist jetzt horizontal; wird es aufwärts reflectirt, so bleibt es grün; wird es dagegen seitwärts reflectirt, so erscheint es schwarz, da das grüne Licht nicht in dieser Richtung reflectirt werden kann. Stellen wir die

Turmalinplatte vertical, so erscheint das nach oben reflectirte Bild schwarz, das seitwärts reflectirte dagegen grün. Dies ist ein Resultat von höchster Bedeutung. Wären die Schwingungen beim Licht, wie beim Schall, longitudinal, so könnte keine derartige Erscheinung beobachtet werden; und eben diese Erscheinung zwingt uns, die Schwingungen als transversal zu betrachten. Machen Sie sich das Verhältniss ganz klar. In dem einen Fall stossen die Lichtwellen mit ihren Kämmen gerade auf die Ebene des Spiegels und dringen hindurch, das grüne Licht wird dann ausgelöscht, in dem anderen Fall treffen die Seiten der Wellen die Ebene des Spiegels, das grüne Licht wird zurückgeworfen. Damit die Auslöschung vollkommen wird, muss das Licht den Spiegel unter einem bestimmten Winkel treffen. Diesen Winkel werden wir sogleich kennen lernen. —

Die Eigenschaft der Zweiseitigkeit kann dem Lichte nicht nur durch den Durchgang durch doppelbrechende Krystalle, sondern auch durch gewöhnliche Reflexion mitgetheilt werden. Malus entdeckte dies 1808, als er durch einen Doppelspath das von den Fenstern des Luxemburgpalastes reflectirte Sonnenlicht betrachtete. Ich fange mit einer Glasplatte den Lichtstrahl unserer Lampe auf, ein grosser Theil des vom Glase reflectirten Lichtes ist polarisirt. Die Schwingungen verlaufen in dem reflectirten Strahle zum grössten Theil parallel der Glasoberfläche; und wenn das Glas so gehalten wird, dass der Strahl einen Winkel von 58° mit dem Loth auf der Glasplatte bildet, so ist der ganze reflectirte Strahl polarisirt. Bei diesem Winkel wurde bei unserem früheren Versuch das Bild des Turmalins vollständig ausgelöscht. Dieser Winkel heisst der Polarisationswinkel.

Sir David Brewster hat bewiesen, dass der Polarisationswinkel eines Körpers derjenige Winkel ist, bei dem der gebrochene und der reflectirte Strahl einen rechten Winkel mit einander bilden¹⁾. Der Polarisationswinkel wächst mit dem Brechungsverhältniss. Er ist für Wasser $52\frac{1}{2}^{\circ}$, für Glas, wie bereits erwähnt, 58° , während er für den Diamant 68° beträgt.

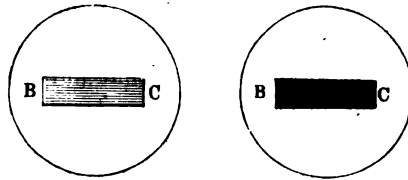
Wir wollen jetzt den Versuch von Malus anstellen. Der Lichtstrahl aus der Lampe wird von dieser Glasplatte im richtigen Winkel aufgefangen und durch den Kalkspath geworfen. Statt zweier Bilder sehen Sie nur ein Bild. Es kann danach das Licht, wenn es, wie im vorliegenden Fall, durch Reflexion polarisirt ist, nur nach einer Richtung durch den Spath gehen und also auch nur ein Bild erzeugen. Woher kommt das? In dem Doppelspath werden, wie im Turmalin, alle Schwingungen im gewöhnlichen Licht auf Schwingungen in zwei senkrecht zu einander stehenden Ebenen zurückgeführt; doch werden, verschieden vom Turmalin, beide Strahlen gleich leicht vom Doppelspath durchgelassen. Die beiden Strahlen demnach, die aus dem Spath austreten, sind polarisirt, und zwar stehen ihre Schwingungsrichtungen senkrecht auf einander. Wenn demnach das Licht in Folge einer Reflexion polarisirt ist, so geht

¹⁾ Dies schöne Gesetz heisst: Das Brechungsverhältniss eines Körpers ist gleich der Tangente des Polarisationswinkels. Vermittelst dieses Gesetzes und eines Apparates, der dem auf S. 17, Fig. 4, ähnlich ist, lässt sich leicht das Brechungsverhältniss einer Flüssigkeit bestimmen. Da der gebrochene und der reflectirte Strahl sichtbar sind, so kann man sie leicht dazu bringen, dass sie einen rechten Winkel einschliessen; und kann so den Polarisationswinkel der Flüssigkeit mit der grössten Genauigkeit finden. Man braucht dann nur seine Tangente zu nehmen, um das Brechungsverhältniss zu erhalten.

nur der Strahl durch den Kalkspath, dessen Schwingungsrichtung in demselben mit der des polarisirten Strahles zusammenfällt, und nur dieser. Es kann unter diesen Verhältnissen also nur ein Bild erscheinen.

Sie sehen jetzt, wie die Gesetzmässigkeit in unseren Versuchen nur ein veränderter Ausdruck der Gesetzmässigkeit in der Natur ist. Auf dem Schirm vor Ihnen sehen Sie zwei helle Kreise, die durch die Doppelbrechung des Doppelspathes erzeugt sind. Es sind, wie Sie wissen, die beiden Bilder der Oeffnung, durch die das Licht aus der Lampe heraustritt. Bringen wir den Turmalin vor die Oeffnung, so erhalten wir ebenfalls zwei Bilder des Krystalles; aber lassen Sie uns vorher

Fig. 29.

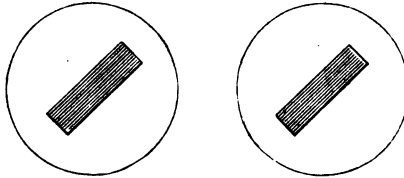


überlegen, was dieser Versuch ergeben wird. Das aus dem Turmalin austretende Licht ist polarisirt. Stellen wir den Krystall mit seiner Axe horizontal, so sind auch die Schwingungen des von ihm durchgelassenen Lichtes horizontal. Nun besitzt der Kalkspath, wie bereits erwähnt, zwei Schwingungsrichtungen, von denen die eine gegenwärtig vertical, die andere horizontal ist. Was folgt daraus? Dass das grüne Licht mit der letzteren Schwingungsrichtung, die parallel der Axe des Turmalins ist, hindurch gelassen werden wird, und nicht das mit der ersteren, die senkrecht auf dieser Axe steht. Hieraus können wir schliessen, dass das eine Bild des Turmalins, die gewöhnliche grüne Farbe des Krystalles zeigen wird,

während das andere Bild schwarz ist. Unsere Schlussfolgerung wird durch den Versuch vollständig bestätigt (Fig. 29).

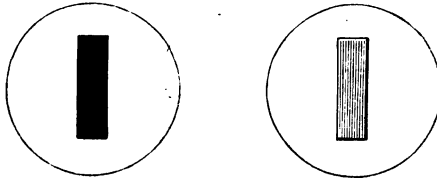
Lassen Sie uns unsere Prüfung weiter führen. Vermittelt einer Schraube ohne Ende kann der Krystall um 90 Grad gedreht werden. Das schwarze Bild wird,

Fig. 30.



während ich drehe, allmählich heller und das helle allmählich dunkler; nach einer Drehung um 45 Grad haben beide Bilder dieselbe Helligkeit (Fig. 30); steht aber nach einer Drehung um 90 Grad die Axe des Krystalles vertical, so haben die hellen und dunkeln

Fig. 31.



Bilder die Stellen gewechselt, genau so, wie die theoretischen Betrachtungen erwarten liessen (Fig. 31).

In Anbetracht dessen, was wir schon über die Reflexion des durch den Durchgang durch einen Turmalin polarisirten Lichtstrahles gesagt haben, können Sie leicht voraussehen, was geschehen muss, wenn wir die beiden aus einem Prisma von Doppelspath heraustretenden Strahlen auf eine unter dem Polarisationswinkel gegen

dieselben geneigte Glasplatte fallen lassen. Ich lasse beide Strahlen neben einander durch die Luft gehen,

Fig. 32.

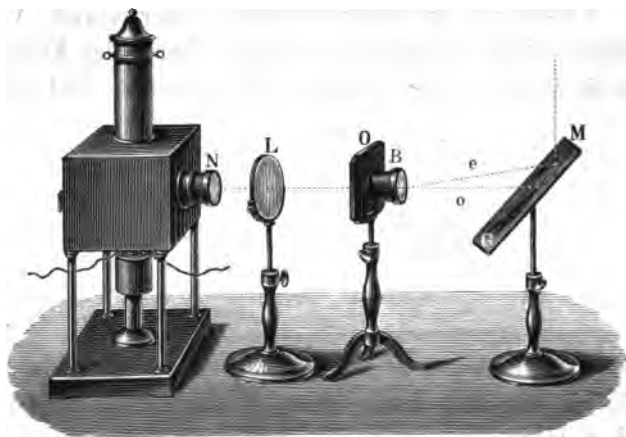
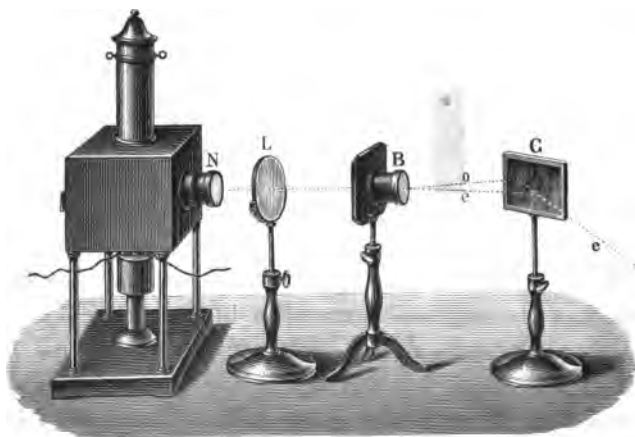


Fig. 33.



fange sie auf einer Glasplatte auf und suche sie nach oben hin zu reflectiren. Im Polarisationswinkel kann

nur einer dieser Strahlen reflectirt werden. Sie sehen sofort, dass dies der Strahl ist, dessen Schwingungen horizontal sind (Fig. 32). Jetzt drehe ich die Glasplatte und suche die Strahlen horizontal zu reflectiren. Nur einer wird reflectirt, nämlich derjenige, dessen Schwingungen vertical sind (Fig. 33). Es ist klar, dass wir sowohl durch den Turmalin, wie durch die reflectirende Glasplatte sofort die Richtung der Schwingungen irgend eines polarisirten Strahles bestimmen können.

Wie schon gesagt, ist der ganze unter dem Polarisationswinkel vom Glase reflectirte Strahl des gewöhnlichen Lichtes polarisirt. Ich muss noch ein Wort über den grösseren Theil des vom Glase hindurchgelassenen Lichtes hinzufügen. Der durchgelassene Strahl enthält dieselbe Menge polarisirten Lichtes, wie der reflectirte. Doch bildet dieses Licht nur einen Theil des ganzen hindurchgelassenen Lichtes. Nehmen wir zwei Glasplatten statt einer, so vermehrt sich der Bruchtheil des polarisirten Lichtes im durchgelassenen Strahl, und schichten wir eine hinlängliche Anzahl Glasplatten auf einander (nehmen wir einen Glassatz), so vermehren wir die Menge des polarisirten Lichtes so sehr, dass der durchgelassene Strahl als vollständig polarisirt betrachtet werden kann. In der That wendet man auch Glassätze häufig zur Erzeugung von polarisirtem Licht an. Es ist wichtig hier zu bemerken, dass die Schwingungsebene dieses hindurchgelassenen Lichtes senkrecht auf der des reflectirten steht.

Nur noch ein Wort. Sind die Turmaline gekreuzt, so ist der Raum, wo sie sich kreuzen, dunkel. Wir haben aber gesehen, dass schon die geringste Neigung der Krystalle hinreicht, um Licht durch beide hindurch

zu lassen. Wir wollen nun zwischen zwei gekreuzte Turmaline eine dritte Platte bringen, deren Axe aber gegen die der beiden andern Platten geneigt ist. Ein Theil des von der ersten Platte hindurchgelassenen Lichtes geht durch die mittlere. Ist es aber durch diese gegangen, so ist die Schwingungsebene nicht mehr dieselbe, sie steht nicht mehr senkrecht auf der Axe des dritten Krystalles. Das Licht geht demnach durch den Krystall. Hieraus schliessen wir, dass durch das Zwischenschieben der dritten Platte die durch die zwei ersten gekreuzten Platten erzeugte Dunkelheit zum Theil aufgehoben wird. Ich habe keine dritte Turmalinplatte; aber der Glimmer, den Sie in Ihren Oefen verwenden, verhält sich ebenso. Ich schiebe zwischen die gekreuzten Turmaline ein Blättchen dieses Krystalles ein, dessen Axe schief gegen die Axe der Turmaline steht. Sie sehen, wie die Kante des Blättchens sich allmählich vorschiebt und wie dem entsprechend die Dunkelheit dem Lichte Platz macht. Es scheint, als ob die Dunkelheit wie etwas Materielles weggefeht sei. Diese Wirkung wurde, wie leicht erklärlich, aber doch unrichtig Depolarisation genannt. Ihre eigentliche Bedeutung werden wir in unserer nächsten Vorlesung auseinandersetzen.

Werden diese Versuche und Schlussfolgerungen gründlich durchstudirt und verstanden, so geben sie für die Analyse der prächtigen optischen Erscheinungen, die wir jetzt betrachten wollen, einen festen Untergrund.

Vierte. Vorlesung.

Farbenerscheinungen durch Krystalle im polarisirten Licht hervorgerufen. — Das Nicol'sche Prisma. — Polarisirendes und analysirendes Prisma. — Wirkung dicker und dünner Gypsplatten. — Farben, abhängig von der Dicke. — Zerlegung des polarisirten Strahles in zwei Strahlen durch den Gyps. — Der eine mehr verzögert, als der andere. — Wiedervereinigung der beiden Wellensysteme durch das analysirende Prisma. — Die Interferenz auf diese Art ermöglicht. — Dem entsprechende Erzeugung von Farben. — Wirkung von mechanisch gedehnten oder gepressten Körpern. — Wirkung von Schallschwingungen. — Wirkung von durch Wärme gedehntem oder gepresstem Glas. — Circularpolarisation. Farbenerscheinungen durch Quarz erzeugt. — Die Einwirkung des Magnetismus auf das Licht. — Ringe um die Axen der Krystalle. — Zweiaxige und einaxige Krystalle. — Uebersicht der Undulationstheorie. — Die Farbe und Polarisation des Himmelslichtes. — Erzeugung von künstlichen Himmeln.

§. 1. Wirkung der Krystalle auf polarisirtes Licht: das Nicol'sche Prisma.

Wir haben heute Abend die Farbenerscheinungen zu zeigen und zu untersuchen, die durch die Wirkung von Krystallen oder doppelbrechenden Körpern im Allgemeinen auf polarisirtes Licht erzeugt werden, und die Undulationstheorie auf ihre Erklärung anzuwenden. Die Forscher mussten lange Zeit hindurch Turmalinplatten zu diesem Zweck benutzen und trotz der mangelhaften

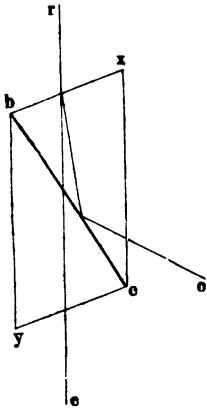
Hilfsmittel waren die Resultate, die sie erhielten, überraschend. Diese Gelehrten waren aber mit ganzem Herzen bei ihrer Arbeit und konnten daher grosse Erfolge mit kleinen instrumentalen Hilfsmitteln erreichen. Wir brauchen für unsere Zwecke weit grössere Apparate, und diesem Bedürfniss ist glücklicher Weise in der letzten Zeit in grossartiger Weise abgeholfen. Wir haben die beiden Strahlen, die im Doppelspath entstehen, gesehen und beide untersucht, und haben bewiesen, dass sie polarisirt sind. Könnten wir, unter Aufopferung der Hälfte des Lichtes, einen dieser Strahlen vernichten, so würde der andere einen Strahl von polarisirtem Licht zu unserer Verfügung stellen, der weit intensiver wäre, als die Strahlen, die wir durch Turmaline erhalten könnten.

Die Strahlen werden, wie Sie wissen, verschiedentlich gebrochen, und daraus können wir schliessen, wie wir es in §. 4 der ersten Vorlesung besprochen haben, dass der eine unter gewissen Verhältnissen total reflectirt werden kann, der andere nicht. Ein geschickter Optiker, Nicol, schnitt einen Doppelspathkrystall in einer gewissen Richtung in zwei Hälften. Er polirte die getrennten Oberflächen und verband sie wieder durch Canadabalsam, und zwar so, dass die Verbindungsfläche so gegen den den Spath durchsetzenden Strahl geneigt war, dass der ordentliche Strahl, der der stärkst gebrochene ist, vom Balsam total reflectirt wurde, während der ausserordentliche Strahl ungehindert hindurchgehen konnte.

bxcy (Fig. 34) möge den Durchschnitt eines verlängerten Rhombus vorstellen, der von einem Doppelspath abgespalten worden ist. Dieser Rhombus sei in der Richtung der Linie *bc* durchgeschnitten, und die

beiden getrennten Oberflächen, nachdem sie polirt worden sind, seien wieder durch Canadabalsam verbunden worden. Wir haben in unserer ersten Vorlesung gehört, dass die totale Reflexion nur dann eintritt, wenn ein Strahl aus einem stärker brechenden Medium in ein weniger brechendes überzugehen sucht, und dass dies unter diesen Umständen immer eintritt, wenn die Neigung eine hinlänglich grosse ist. Nun ist der Brechungsindex des Doppelspathes für den ausserordentlichen Strahl kleiner, für den ordentlichen grösser, als für Canadabalsam. Geht

Fig. 34.



daher der ausserordentliche Strahl vom Spath zum Balsam, so geht er dabei von einem schwächer brechenden Medium zu einem stärker brechenden Medium über, wo eine totale Reflexion nicht eintreten kann; während der ordentliche Strahl von einem stärker brechenden zu einem weniger brechenden Medium übergeht, wo eine totale Reflexion eintreten kann. Die erforderliche Neigung erreicht man, wenn man den Rhombus so lang macht, dass die Ebene, deren

Durchschnitt bc ist, senkrecht oder fast senkrecht auf den beiden Endflächen des Rhombus bx , cy steht.

Die Erfindung des Nicol'schen Prismas war ein grosser Fortschritt in der experimentellen Optik, und kürzlich sind solche Prismen von einer solchen Grösse und Reinheit hergestellt worden, dass man damit einer grossen Zuhörerzahl die Farbenerscheinungen von polarisiertem Licht in einer Weise zeigen kann, wie es früher ganz unmöglich war.

Die beiden Prismen, die Sie hier sehen, wurden mir von meinem verstorbenen, tief betrauerten Freund Herrn William Spottiswoode geliehen und waren von einem sehr geschickten Optiker, Herrn Ahrens, geschliffen.

§. 2. Farben der Gypsblättchen im polarisirten Licht.

Diese beiden Nicol'schen Prismen spielen dieselbe Rolle, wie die beiden Turmalinplatten. Werden ihre Schwingungsrichtungen parallel gestellt, so lassen beide das Licht hindurch; kreuzen sich diese Richtungen, so wird das Licht ausgelöscht. Führen wir ein Glimmerblättchen zwischen die Prismen ein, so tritt das Licht, wie bei dem Turmalin, wieder mit grosser Helligkeit auf. Indess beobachten Sie, dass, wenn das Glimmerblättchen dünn ist, Sie oft nicht nur Licht erhalten, sondern auch gefärbtes Licht. Unsere Aufgabe für die nächste Zeit wird in der Untersuchung dieser Farben bestehen. Als Beispiel will ich einen Krystall wählen, mit dem man wegen seiner leichten Spaltbarkeit gut arbeiten kann, den krystallisirten Gyps oder Selenit — krystallisirten schwefelsauren Kalk. Ich bringe zwischen die gekreuzten Nicols eine dicke Gypsplatte; wie der Glimmer, stellt sie den Durchgang des Lichtes wieder her, erzeugt aber keine Farbe. Mit meinem Federmesser spalte ich einen dünnen Splitter von diesem Krystall ab und bringe ihn zwischen die Prismen; das Bild des Splitters leuchtet in den lebhaftesten Farben auf. Drehe ich das vordere Prisma, so erleichen und verschwinden allmählich die Farben; drehe ich aber weiter, bis die Schwingungsebenen der Prismen einander parallel sind, so zeigen

sich von Neuem lebhaftere Farben; sie sind indess den früheren complementär.

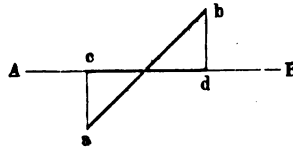
Einige Theilchen des Splitters erscheinen in einer Farbe, andere in einer anderen. Diese Verschiedenheit kommt von der verschiedenen Dicke der Blättchen her. Wie bei den Hooke'schen dünnen Platten ist, wenn die Dicke gleichmässig, auch die Farbe gleichmässig. Hier ist z. B. ein Stern, jeder Zacken des Sternes ist, wie Sie sehen, ein Gypsblättchen von gleichmässiger Dicke; jeder Zacken zeigt die gleiche leuchtende Farbe. Wir können leicht, wenn wir unsere Blättchen so formen, dass sie Blumen oder andere Gegenstände darstellen, sie in so glänzenden Farben spielen lassen, wie kein Künstler sie malen kann. Hier sehen Sie eine Art Stiefmütterchen, dessen Farbenpracht kaum ein Maler wiedergeben könnte. Drehen wir das vordere Nicol um 90 Grad, so gehen wir durch eine farblose Phase zu einer Farbenreihe über, die der früheren complementär ist. Wir können den Farbenwechsel noch überraschender an einem Rosenstock zeigen, der jetzt in seinen natürlichen Farben erscheint. — Sie sehen eine rothe Blume und grüne Blätter; drehen wir das Prisma um 90 Grad, so erhalten wir eine grüne Blume und rothe Blätter. Alle diese wunderbaren Farbenerscheinungen haben ihre mechanischen Ursachen in den Aetherbewegungen. Das Gesetz der Interferenz erklärt sie alle bei richtiger Anwendung und Deutung.

§. 3. Farben der Krystalle im polarisirten Licht durch die Wellentheorie erklärt.

Sie haben erfahren, dass das Wort „Licht“ in zwei Bedeutungen gebraucht werden kann; es kann den Eindruck bedeuten, den das Licht auf das Bewusstsein

macht, oder es kann die physikalische Ursache dieses Eindrucks sein. Mit dieser Ursache müssen wir uns jetzt beschäftigen. Der Lichtäther ist eine Substanz, die den ganzen Raum erfüllt und alle Atome und Moleküle der Körper umgiebt. Diesem Medium, das ebenso zwischen den Sternen wie zwischen den Atomen liegt, werden bestimmte mechanische Eigenschaften zugeschrieben, und wir behandeln es in unseren Betrachtungen und Berechnungen wie einen Körper, der solche Eigenschaften besitzt. In der Mechanik behandeln wir die Zusammensetzung und die Zerlegung von Kräften und Bewegungen und gelangen dabei auch zur Zusammensetzung und Zer-

Fig. 35.



legung von Schwingungen. Wir behandeln die Bewegungen des Lichtäthers nach mechanischen Gesetzen, und aus der Zusammensetzung und Zerlegung seiner Schwingungen leiten wir alle Erscheinungen ab, die die Krystalle im polarisirten Licht zeigen.

Wir wollen als Beispiel einen Turmalinkrystall nehmen, den wir schon gut kennen. Eine Schwingung kreuzt diesen Krystall in schiefer Richtung zu seiner Axe. Der Versuch hat bewiesen, dass ein Theil des Lichtes hindurchgeht. Wie viel hindurchgeht, können wir auf folgende Weise bestimmen. AB (Fig. 35) sei die Axe des Turmalins und ab sei die Amplitude einer gegen AB geneigten Aetherschwingung, ehe sie AB erreicht. Von a und b wollen wir die beiden senkrechten Linien ac

und bd auf die Axe fallen; dann ist cd die Amplitude der durchgelassenen Schwingung.

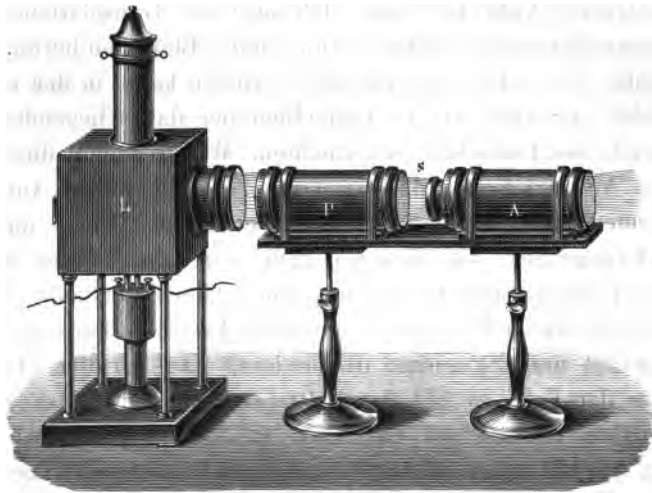
Ich will mich jetzt bemühen, Ihnen die Wirkung zu erklären, die man beobachtet, wenn ein Gypsblättchen zwischen zwei Nicol'sche Prismen gebracht wird. Doch ist es wünschenswerth, vorher die Analogie zwischen der Wirkung der Prismen und der von zwei Turmalinplatten näher zu bestimmen. Sie haben jetzt das vergrößerte Bild der Platten mit ihren rechtwinkelig auf einander gestellten Axen vor sich. Ich lege ein Gypsblättchen dazwischen und Sie sehen, wenn ich das Blättchen herumdrehe, dass ich es in eine Lage bringen kann, in der es nicht im Stande ist, die Dunkelheit der daraufliegenden Theile des Turmalins zu vernichten. Woher kommt dies? Die Antwort lautet, dass im Gyps zwei Richtungen vorhanden sind, die auf einander senkrecht stehen; nur Schwingungen, die diesen parallel erfolgen, können in den Krystall eintreten; in unserem jetzigen Versuche ist die eine dieser Richtungen einer der Axen des Turmalins parallel und die andere der anderen Axe parallel. Ist dies der Fall, so übt das Blättchen keinen bemerkenswerthen Einfluss auf das Licht aus. Doch jetzt drehe ich das Blättchen so, dass ich die Schwingersrichtungen gegen die beiden Axen des Turmalins in eine geneigte Lage bringe; dann übt es seine Wirkung aus, wie ich Ihnen in der letzten Vorlesung gezeigt habe, und stellt die Helligkeit theilweise wieder her.

Wir wollen jetzt die Nicol'schen Prismen aufstellen und sie kreuzen, wie wir die Turmalinplatten gekreuzt haben. Führen wir unser Gypsblättchen zwischen sie ein, so beobachten Sie, dass es in einer gewissen Lage gar keinen Einfluss auf das Gesichtsfeld ausübt. Wenn aber das Blättchen ein klein wenig gedreht

wird, so geht das Licht hindurch. Wir müssen nun den Mechanismus kennen lernen, durch den wir dies erreichen.

Wir haben zuerst das erste Prisma P (Fig. 36), welches das Licht von der elektrischen Lampe L erhält und der Polarisator genannt wird. Dann haben wir die Gypsplatte (von der wir annehmen, sie sei bei s aufgestellt) und dann vorn das Prisma A , das der Analy-

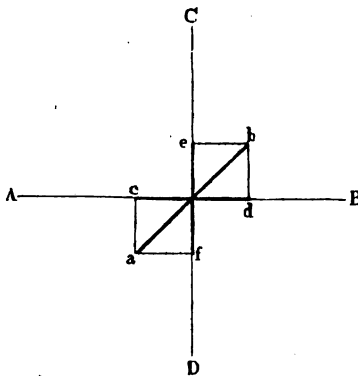
Fig. 36.



sator heisst. Bei seinem Austritt aus dem ersten Prisma ist das Licht polarisirt, und in dem besonderen, uns vorliegenden Fall finden die Schwingungen in der Horizontalebene statt. Die beiden Richtungen der Schwingungsebenen des Gypses bei s sind jetzt schräg gegen den Horizont geneigt. Ziehen Sie ein rechtwinkeliges Kreuz (AB , CD , Fig. 37), um diese beiden Richtungen darzustellen. Ziehen Sie ferner eine Linie (ab), welche die Amplitude der horizontalen Schwingung beim Heraus-

tritt des Lichtes aus dem ersten Nicol darstellt. Füllen Sie von den beiden Enden dieser Linie zwei Lothe auf die beiden Arme des Kreuzes; so stellen die Entfernungen (cd , ef) zwischen den Fusspunkten der Lothe die Amplituden der zwei rechtwinkligen Schwingungen dar, die die Componenten der ersten Schwingung bilden. So wird der polarisirte Strahl, wenn er in den Gyps eintritt, in zwei gleichwerthige Theile zerlegt, die

Fig. 37.



im rechten Winkel zu einander schwingen.

Der Aether im Gyps pflanzt Schwingungen, die in der einen dieser rechtwinkligen Richtungen erfolgen, langsamer fort, als die in der anderen, und in Folge dessen werden die Wellen, die in der dazu senkrechten Richtung stattfinden, mehr ver-

zögert als die der anderen. Die Wellen sind in beiden Fällen verkürzt, wenn sie in den Gyps eintreten, aber die Wellen des einen Systems sind stärker verkürzt, als die des anderen. Sie können sich leicht vorstellen, wie auf diese Weise das eine Wellensystem eine halbe Wellenlänge oder in der That jede beliebige Anzahl von halben Wellenlängen dem anderen voraus kommen kann. Die Möglichkeit einer Interferenz leuchtet hier augenblicklich ein. Sie werden indess leicht einsehen, dass, so lange die Schwingungen im rechten Winkel zu einander erfolgen, sie sich gegenseitig nicht aufheben können, welches die Verzögerung auch immer sein mag.

Dies führt uns unmittelbar zu der Rolle des Analysators, dessen einzige Thätigkeit darin besteht, dass er beide vom Gyps ausgehenden Schwingungen wieder zusammenfügt. Er führt sie auf eine einzige Ebene zurück, wobei dann, wenn die eine von ihnen eine entsprechende Verzögerung erfahren hat, eine vollständige Auslöschung erfolgt.

Hier aber kommen, wie bei den dünnen Blättchen, die verschiedenen Längen der farbigen Lichtwellen in Betracht. Bei Roth bedarf es einer grösseren Dicke, um die zur Auslöschung nöthige Verzögerung zu erzeugen, als bei Blau; wenn daher die längeren Wellen durch die Interferenz ausgelöscht worden sind, so bleiben die kürzeren zurück, und das Gypsblättchen leuchtet in den Farben, die den kurzen Wellen entsprechen. Und umgekehrt, sind die kürzeren Wellen fortgenommen, so ist die Dicke eine solche, dass die längeren Wellen übrig bleiben. Eine einfache Betrachtung genügt, um zu zeigen, dass, wenn die Schwingungsrichtungen der Prismen und des Gypses einen Winkel von fünfundvierzig Grad mit einander einschliessen, die Farben ihren höchsten Glanz zeigen. Wird das Blättchen in seiner Ebene gedreht, so erbleichen die Farben allmählich; in der Lage, wo die Richtungen der Schwingungen im Blättchen und in den Prismen parallel sind, verschwinden sie ganz.

(Das beste Mittel, um sich diese Erscheinungen zu veranschaulichen, ist, dass man sich ein Modell von dünnem Holz oder Pappe macht, das die Gypsplatte, ihre Schwingungsebenen und auch die des Polarisators und Analysators darstellt. Zwei parallele Stücke Pappe sind durch einen Zwischenraum von einander getrennt, der die Dicke des Gypsblättchens darstellt. Zwischen ihnen stellen zwei Stücke, die sich im rechten Winkel schneiden,

die Schwingungsebenen im Blättchen vor, während zwei andere Pappstücke, die aussen an den beiden parallelen Oberflächen befestigt sind, den Schwingungsebenen des Polarisators und des Analysators entsprechen. Auf den beiden zwischenliegenden Ebenen müssen die Wellen gezeichnet werden, welche die Theilung des ersten polarisirten Strahles in zwei andere zeigen, und dann die darauf folgende Reduction der beiden Schwingungssysteme auf eine gemeinsame Ebene durch den Analysator. Verfolgen wir genau die Beziehung der beiden Wellensysteme, so lehrt uns ein solches Modell, dass alle Farbenerscheinungen, die wir durch die Vereinigung der Wellen erhalten, wenn die Schwingungsebenen der beiden Nicol'schen Prismen parallel sind, durch die complementären Erscheinungen ersetzt werden, wenn die Nicol'schen Prismen senkrecht zu einander stehen.)

Bei der folgenden Betrachtung wollen wir der Einfachheit halber nur einfarbiges Licht benutzen; rothes Licht, welches hinlänglich rein durch ein rothes Glas zu erhalten ist. Nehmen wir an, dass eine gewisse Dicke des Gypses eine Verzögerung von einer halben Wellenlänge bewirkt, so wird die doppelte Dicke eine Verzögerung von zwei halben Wellenlängen bewirken, die dreifache Dicke eine Verzögerung von drei halben Wellenlängen und so fort. Sind nun die Nicol'schen Prismen parallel, so bewirkt die Verzögerung einer halben Wellenlänge oder irgend einer ungeraden Anzahl von halben Wellenlängen eine vollständige Auslöschung; bei allen Dicken dagegen, die der Verzögerung durch eine gerade Zahl von halben Wellenlängen entsprechen, unterstützen sich die beiden Strahlen gegenseitig, wenn sie durch den Analysator auf die gleiche Ebene gebracht worden sind. Nehmen wir also eine keilförmige Platte,

die in einer Richtung allmählich dicker wird, so müssen wir erwarten, im rothen Licht eine Reihe von abwechselnd hellen und dunkeln Bändern zu finden; die dunkeln Bänder müssen bei den Dicken eintreten, welche Verzögerungen von ein, drei, fünf u. s. f. halben Wellenlängen bewirken, während die hellen Bänder zwischen den dunkeln liegen. Der Versuch beweist, dass das keilförmige Blättchen in der That diese Bänder zeigt. Sehr schön erscheinen sie bei einem runden Blättchen, das so geschliffen ist, dass es im Centrum am dünnsten ist und allmählich nach dem Rande zu dicker wird. Man erzeugt so eine prachttvolle Reihe von hellen und dunkeln Ringen.

Wenn wir statt rothen Lichtes blaues Licht anwenden, so sieht man die Ringe ebenfalls; da sie aber in dünneren Theilen des Blättchens auftreten, so sind sie kleiner als die Ringe, die man mit rothem Licht erhält. Wir können hiernach die Resultate voraussehen die man bei Anwendung von weissem Licht erhält; da das Roth und Blau an verschiedenen Stellen entstehen, so erzeugt das weisse Licht Ringe in Regenbogenfarben.

Einige der Farbenwirkungen bei unregelmässiger Krystallisation sind ausserordentlich schön. Könnte ich zwischen unsere Nicol'schen Prismen eine Glasplatte bringen, die mit den Eisblumen bedeckt wäre, wie sie das kalte Wetter jetzt so schön hervorzaubert, so würden die prächtigsten Farben erscheinen. Die herrlichen Wirkungen der nach allen Richtungen gelagerten Krystalle der Weinsäure und anderer Substanzen auf Glasplatten, die ich Ihnen jetzt hier vorführe, zeigen Ihnen, was Sie von der überfrorenen Fensterscheibe erwarten könnten. Aber nicht nur krystallinische Körper wirken auf diese Weise auf das Licht, sondern auch fast

alle Körper, die eine bestimmte Structur haben. Es ist ein allgemeines Gesetz, dass alle organischen Körper eine solche Wirkung auf das Licht ausüben; denn ihr Bau bedingt eine solche Anordnung der Moleküle und des mit den Molekülen verbundenen Aethers, dass eine doppelte Brechung eintreten muss. Ein Hornblättchen oder ein Muscheltheilchen giebt z. B. sehr schöne Farben im polarisirten Lichte. In einem Baume besitzt der Aether sicher verschiedene Grade der Elasticität nach der Längs- oder Querrichtung der Fasern, und wäre das Holz durchsichtig, so würde diese Eigenthümlichkeit der molekularen Structur sich unfehlbar durch eben solche Farbenerscheinungen enthüllen, wie Sie sie eben gesehen haben.

§. 4. Farben durch Zug und Druck hervorgerufen.

Indess wirken nicht nur natürliche Körper auf diese Weise, sondern es ist auch möglich, wie Brewster bewiesen hat, durch einen künstlichen Zug oder Druck nichtkrystallinischen Körpern, wie z. B. dem gewöhnlichen Glase, eine vorübergehende, doppelbrechende Structur zu geben.

Dieser Satz verdient genauer erörtert zu werden. Lege ich einen Holzstab über mein Knie und versuche ihn zu zerbrechen, welches ist dann der mechanische Zustand des Stabes? Er biegt sich, an seiner convexen Oberfläche ist er longitudinal gedehnt; an seiner concaven Oberfläche, die meinem Knie zunächst ist, ist er longitudinal zusammengedrückt. In beiden Theilen, sowohl im gedehnten wie im zusammengedrückten, wird der Aether in einen Zustand versetzt, der das Holz, wenn es durchsichtig wäre, doppelbrechend machen würde. Denn in Fällen, wie in dem vorliegenden, ist

das longitudinale Auseinanderziehen der Moleküle immer von ihrer Annäherung aneinander in transversaler Richtung begleitet, während der longitudinale Druck von einer Entfernung der kleinsten Theilchen senkrecht zu dieser Richtung begleitet wird. Jede Hälfte des Holzstabes zeigt diesen Gegensatz und ist daher doppelbrechend.

Wir wollen diesen Versuch jetzt mit einem Glasstabe wiederholen. Ich bringe zwischen die gekreuzten Nicol'schen Prismen einen solchen Stab. Bei dem schwachen Ueberrest des auf dem Schirm noch zurückgebliebenen Lichtes sehen Sie das Bild des Glases, aber es übt keinen Einfluss auf das Licht aus. Ich biege nun den Glasstab mit meinem Finger und Daumen und halte seine Längsrichtung schief gegen die Schwingungsrichtungen der Nicol'schen Prismen. Sogleich leuchtet Licht auf dem Schirme auf. Die beiden Seiten des Stabes erscheinen hell, die Ränder am hellsten, denn hier sind Druck und Dehnung am grössten. Wenn wir von den Stellen longitudinaler Dehnung zu den Stellen longitudinaler Pressung übergehen, so kommen wir durch einen Theil des Glases, wo keine von beiden ausgeübt wird. Dies ist die sogenannte neutrale Axe des Glasstabes und ihr entlang sehen Sie ein dunkles Band, das anzeigt, dass das Glas längs dieser Axe keinen Einfluss auf das Licht ausübt. Wenden wir statt des Druckes meines Fingers und Daumens eine Presse an, so wird der Glanz des Lichtes bedeutend vermehrt.

Ich habe hier eine quadratische Glasplatte, die in eine andere Art Presse eingesetzt werden kann. Bringe ich die ungepresste quadratische Glasplatte zwischen die Prismen, so zeigt sich ihre Neutralität; doch kann sie kaum in der Presse so lose gehalten werden, dass

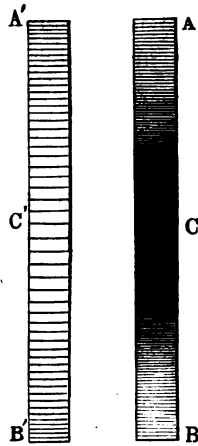
sich ihre Wirkung nicht bethätigte. Sie sehen schon Lichtflecke an den Punkten, wo die Presse mit dem Glase in Berührung kommt, obgleich der Druck kaum bemerkbar ist. Sowie ich die Schraube drehe, flammt augenblicklich das Bild der quadratischen Glasplatte auf dem Schirme auf. Man sieht leuchtende Räume, die von einander durch dunkle Streifen getrennt sind.

Jedes Paar aneinander grenzender Räume befindet sich unter entgegengesetzten mechanischen Bedingungen. Auf der einen Seite des dunkeln Bandes haben wir die Dehnung, auf der anderen Seite die Pressung; während das dunkle Band die neutrale Axe zwischen beiden anzeigt. Ich ziehe die Schraube jetzt fester an, und Sie sehen Farben; ziehe ich sie noch fester an, so erscheinen die Farben ebenso glänzend, wie bei den Krystallen. Löse ich die Schraube, so verschwinden augenblicklich die Farben; ziehe ich sie schnell wieder fester an, so erscheinen sie wieder. Aus den Farben einer Seifenblase konnte Newton auf ihre Dicke schliessen und so durch Ideenassociation anscheinend ganz fremdartige Dinge verbinden. Aus den hier vor Ihnen erscheinenden Farben könnte man auf die Stärke des angewendeten Druckes schliessen. Und in der That hat Wertheim in Paris ein Instrument für die Bestimmung der Dehnung und des Druckes mittelst der Farben des polarisirten Lichtes erfunden, welches alle früheren derartigen Instrumente weit an Genauigkeit übertrifft.

Und jetzt wollen wir diese Betrachtungen zu einem Abschluss bringen. Polarisirtes Licht kann auf verschiedene Weise als Reagens für molekulare Zustände benutzt werden. Es kann z. B. angewendet werden, um den Zustand eines festen Körpers zu bestimmen, wenn er tönt. Ich halte einen Glasstab von 6 Fuss

Länge, 2 Zoll Breite und ein Viertel Zoll Dicke in der Mitte zwischen Zeigefinger und Daumen. Wird ein feuchtes wollenes Tuch über die eine Hälfte gezogen, so hören Sie einen schrillen Ton, der von den Schwingungen des Glases herrührt. Welches ist der Zustand des Glases, während der Ton gehört wird? Seine beiden Hälften verlängern und verkürzen sich in rascher Aufeinanderfolge. Seine beiden Enden sind daher in einem Zustand rascher Schwingung; aber in der Mitte begegnen sich die beiden Enden und entfernen sich abwechselnd von einander. Während dieser entgegengesetzten Wirkung bleibt das Glas in der Mitte bewegungslos;

Fig. 38.

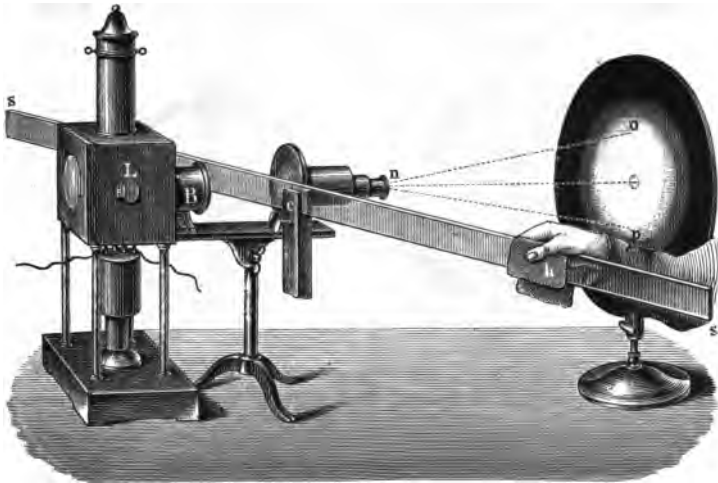


andererseits wird es aber daselbst abwechselnd gedehnt und zusammengepresst. In Fig. 38 stellt AB das Glasrechteck mit seinem verdichteten Centrum dar, während $A'B'$ dasselbe Glasrechteck mit ausgedehntem Centrum C' darstellt. Die Enden des Stabes erleiden weder eine Verdichtung noch eine Verdünnung.

Führen wir den Glasstreifen ($s's'$, Fig. 39) zwischen die gekreuzten Nicol'schen Prismen ein, sorgen dafür, dass er schief gegen ihre Schwingungsrichtungen steht und fahren mit unserem nassen Tuche über das Glas, so tritt Folgendes ein: Bei jeder Pressung wird das Licht hindurchleuchten; bei jedem Zuge wird das Licht ebenfalls hindurchleuchten, und diese Zustände des Druckes und der Dehnung folgen sich so rasch, dass wir erwarten können, einen permanenten Lichteindruck auf

das Auge zu erhalten. Durch eine rein theoretische Betrachtung kommen wir also zu dem Resultat, dass das Licht wieder auftritt, so oft das Glas in Tonschwingungen versetzt wird. Das dem so ist, beweist der Versuch; bei jedem Reiben mit dem Tuche leuchtet eine schöne, glänzende Scheibe (*op*) auf dem Schirme auf. Man kann den Versuch auch abändern: Wenn wir vor den Polarisator eine Platte von nichtgeköhltem Glase stellen,

Fig. 39.



erhalten wir eine Reihe von schön gefärbten Ringen, die von einem schwarzen Kreuz durchschnitten sind. Jedes Reiben mit dem Tuche zerstört nicht nur die Ringe, sondern bringt complementär gefärbte hervor, und das schwarze Kreuz ist für einen Augenblick durch ein weisses ersetzt. Dies ist eine Modification eines sehr schönen Versuches von Biot. Sein Apparat gestattet indess nur einem Beobachter, die Erscheinung zu sehen.

§. 5. Farben von nicht gekühltem Glase.

Körper werden durch Wärme gewöhnlich ausgedehnt und durch Kälte zusammengezogen. Wirkt die Erwärmung vollkommen gleichmässig, so treten keine localen Dehnungen oder Drucke auf; wird aber ein Theil eines festen Körpers erwärmt und andere Theile nicht, so ruft die Ausdehnung des erwärmten Theiles Dehnungen und Drucke hervor, die sich durch die Prüfung mit polarisirtem Lichte erkennen lassen. Wird

Fig. 40.

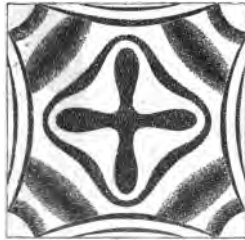
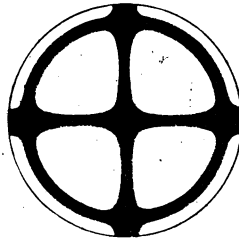


Fig. 41.

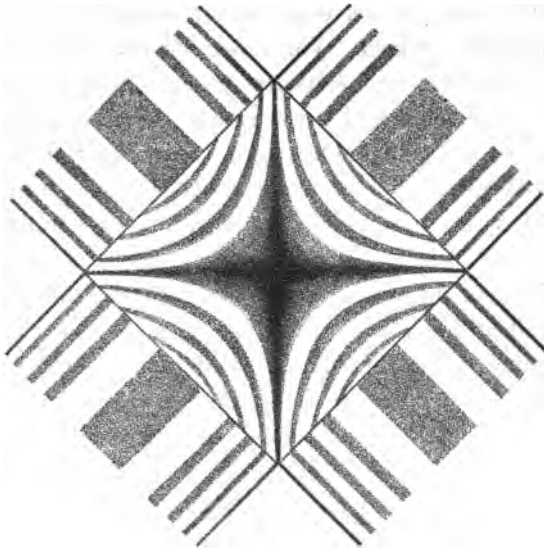


eine quadratische Platte von gewöhnlichem Fensterglas zwischen die Nicol'schen Prismen eingefügt, so sehen Sie ihren schwachen Umriss, aber sie übt keine Wirkung auf das polarisirte Licht aus. Hält man sie einen Augenblick über die Flamme der Spirituslampe, ehe man sie wieder zwischen die Nicol'schen Prismen einführt, so erscheint plötzlich Licht auf dem Schirme. Hier haben Sie, wie bei der mechanischen Wirkung, leuchtende Räume der Dehnung, die durch dunkle neutrale Axen von den Räumen des Druckes getrennt sind.

Wir wollen jetzt die Wärme symmetrischer wirken lassen. Ein kleines Glasquadrat ist in der Mitte durchbohrt; in die Oeffnung wird ein Stückchen Kupferdraht eingeführt. Stellen wir die quadratische Platte zwischen

die Prismen und erwärmen den Draht, so geht die Wärme durch Leitung auf das Glas über, durch das sie sich vom Mittelpunkte nach den Aussenrändern hin ausbreitet. Sie sehen sogleich vier leuchtende Quadranten und ein mattes Kreuz, das allmählich im Vergleich zu dem angrenzenden Glanze immer schwärzer erscheint. Und wie wir beim Druck Farben hervorrufen konnten,

Fig. 42.



so auch hier; wir können durch richtige Anwendung der Wärme überraschende Farbenwirkungen erzielen. Die für diese Farbenerzeugung äusserst nothwendige Bedingung kann dauernd erhalten werden, wenn wir zuerst das Glas genügend erhitzen und dann wieder schnell abkühlen, so dass die abgekühlte Masse dauernd in einem Zustande von Dehnung und Druck bleibt. Zwei oder drei Beispiele mögen dies näher erläutern. Fig. 40 und 41 stellen die Bilder dar, die wir durch zwei in der an-

gegebenen Art hergestellte Glasplatten erhalten. Zwei rechtwinkelige Platten von schnellgekühltem Glas, die kreuzweise zwischen den Polarisator und den Analysator gestellt werden, zeigen die schönen regenbogenfarbigen Streifen, wie in Fig. 42 a. v. S.

§. 6. Circulare Polarisation.

Wir aber müssen dem Aether noch weiter in seine Schlupfwinkel folgen. Vor Ihnen ist ein Pendel aufgehängt, das, wenn es seitwärts gezogen und wieder freigelassen wird, hin und her schwingt. Wenn ich nun dem Pendel in dem Augenblick, wo es den mittleren Punkt seines Weges erreicht, einen Stoss gebe, der es im rechten Winkel zu seiner bisherigen Richtung forttreibt, was geschieht? Die beiden Anstösse vereinen sich zu einer Schwingung, die schräg gegen die Richtung der früheren steht, aber das Pendel schwingt noch in einer Ebene. Wird aber der rechtwinkelige Stoss dem Pendel erteilt, wenn es an der Grenze seiner Ausschwingung angelangt ist, dann bewirkt die Vereinigung der beiden Anstösse, dass die aufgehängte Kugel nicht eine gerade Linie, sondern eine Ellipse beschreibt, und ist der zweite Anstoss gerade genügend, um für sich eine Schwingung von derselben Amplitude wie die erste zu erzeugen, so wird aus der Ellipse ein Kreis.

Warum lege ich so viel Gewicht auf diese Dinge? Nur, damit Sie die Analogie zwischen diesen groben mechanischen Schwingungen und den Schwingungen des Lichtes erkennen. Ich halte eine Quarzplatte in meiner Hand, die aus einem Krystall senkrecht gegen seine Axe geschnitten worden ist. Dieser so geschnittene Krystall besitzt die aussergewöhnliche Eigenschaft, die

Schwingungsebene eines polarisirten Strahles um einen Winkel zu drehen, der von der Dicke des Krystalles abhängt. Je brechbarer das Licht, desto grösser ist die Drehung, so dass bei der Anwendung von weissem Lichte die Schwingungsebenen der Farben, aus denen es besteht, fächerartig auseinander gebreitet werden. Stellen wir die Quarzplatte zwischen den Polarisator und den Analysator, so erscheint dies lebhaftes Roth, und drehen wir den vorderen Analysator von rechts nach links, so erscheinen die anderen Farben des Spectrums in ihrer Reihenfolge. Man hat Quarzarten gefunden, bei denen der Analysator von links nach rechts gedreht werden muss, um dieselbe Reihenfolge der Farben zu erhalten. Daher werden Krystalle der ersten Art rechte, und Krystalle der zweiten Art linke genannt.

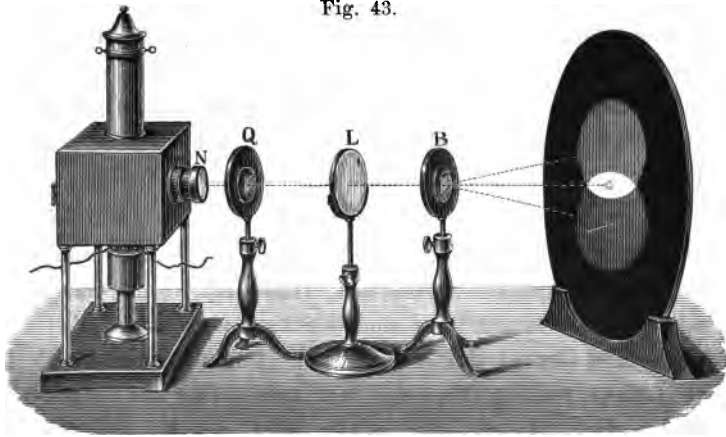
Fresnel, dessen Genie wir hauptsächlich die Bearbeitung und den endlichen Triumph der Undulationstheorie des Lichtes verdanken, reproducirte im Geiste mit tiefem Verständniss den Mechanismus dieser Krystalle und bewies, dass sie ihre Wirkung dem Umstande verdanken, dass in ihnen die Wechselwirkung der Aetherwellen dieselben Bedingungen erzeugt, wie bei unserem rotirenden Pendel. Statt linear polarisirt zu sein, ist das Licht im Bergkrystall circular polarisirt. Zwei solche Strahlen, die in der Richtung der Axe des Krystalles hindurchgelassen werden und in entgegengesetzten Richtungen rotiren, können, wenn sie durch den Analysator zur Interferenz gebracht werden, alle beobachteten Phänomene hervorrufen.

§. 7. Complementäre Farben des doppelbrechenden Kalkspathes in circular polarisirtem Licht.

Beweis, dass Gelb und Blau complementäre Farben sind.

Ich nehme jetzt den Analysator fort und stelle an seinen Platz ein Stück Doppelspath, an dem wir schon die Doppelbrechung gezeigt haben. Die beiden Bilder

Fig. 43.



der Kohlenspitzen vor Ihnen sind, wie Sie wissen, durch zwei Strahlen hervorgerufen, die im rechten Winkel zu einander schwingen. Füge ich eine Quarzplatte zwischen den Polarisator und den Doppelspath ein, so leuchten die beiden Bilder in complementären Farben. Benutzen wir das Bild einer Oeffnung statt desjenigen der Kohlenspitzen, so erhalten wir zwei farbige Kreise. Sowie der Analysator gedreht wird, erfahren die Farben mannigfachen Wechsel; doch sind sie einander immer complementär. Ist die eine roth, so ist die andere grün; wenn

die eine gelb ist, ist die andere blau. Es bietet sich hier Gelegenheit, eine Behauptung, die wir schon in unserer ersten Vorlesung aufgestellt haben, von Neuem zu beweisen, dass nämlich, wenn auch eine Mischung von blauen und gelben Pigmenten Grün erzeugt, doch die Mischung von blauem und gelbem Lichte weiss erscheint. Vergrössern wir unsere Oeffnung, so nähern sich einander die Ränder der beiden Bilder, die der Doppelspath hervorgerufen hat, und zuletzt lagern sie sich über einander. Das eine Bild ist jetzt lebhaft gelb, das andere lebhaft blau, und Sie werden beobachten, dass wir da, wo die Farben übereinander liegen, ein reines Weiss sehen (Fig. 43, wo *N* das Ende des Polarisators ist, *Q* die Quarzplatte, *L* die Linse und *B* der doppelbrechende Kalkspath ist. Beide Bilder decken sich in der Mitte und erzeugen durch ihre Mischung ein reines Weiss).

§. 8. Die Magnetisirung des Lichtes.

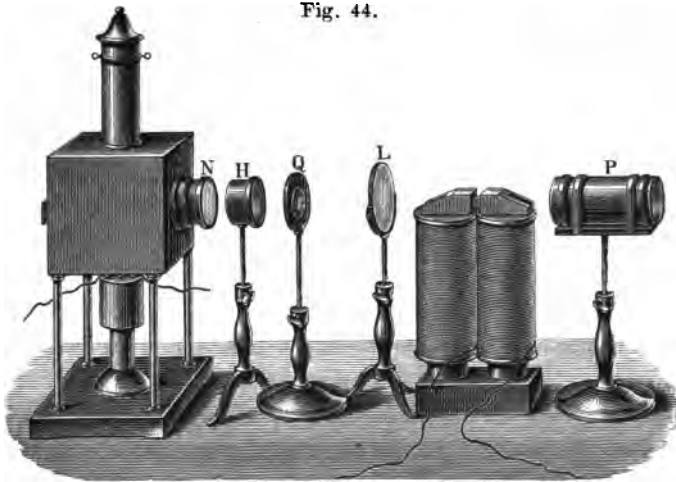
Dies führt uns auf einen Punkt in unseren Forschungen, der zwar selten in Vorlesungen durch Experimente erläutert wird, der indess höchst wahrscheinlich unseren wissenschaftlichen Gedankengang für die Zukunft so wesentlich beeinflussen wird, dass ich ihn nicht gern unerwähnt lassen möchte. Ich meine den Versuch, welchen Faraday, der ihn zuerst anstellte, mit dem Namen der Magnetisirung des Lichtes belegte. Die Anordnung dieses berühmten Versuches steht vor Ihnen. Wir haben zuerst die elektrische Lampe, dann ein Nicol'sches Prisma, um den von der Lampe kommenden Strahl zu polarisiren; dann einen Elektromagnet, dann ein zweites Nicol, und endlich den Schirm. Die beiden Prismen sind jetzt gekreuzt und der Schirm ist dunkel. Ich bringe zwischen die Pole des Elektro-

magnetes einen Cylinder von einer von Faraday zuerst dargestellten Glassorte, von sogenanntem Faraday'schen schwerem Glase. Durch dieses Glas geht der polarisirte Lichtstrahl hindurch, der von dem vorderen Nicol aufgefangen wird. Ich errege jetzt den Magnet, und sogleich erscheint Licht auf dem Schirme. Durch die Wirkung des Magneten auf das schwere Glas wird die Polarisationssebene gedreht, so dass das Licht durch den Analysator hindurchgehen kann.

Die beiden Arten, in welchen der Bergkrystall vorkommen kann, haben wir schon erwähnt. In meiner Hand halte ich eine „Doppelplatte“, deren eine Hälfte aus einem rechts, deren andere aus einem links drehenden Krystall besteht. Stellen wir die Platte vor das polarisirende Prisma, so können wir durch Drehung des einen Prismas bewirken, dass beide Hälften der Platte eine gleiche blaurothe Farbe zeigen. Hierdurch ist uns ein äusserst empfindliches Mittel gegeben, die Wirkung des Magneten auf das Licht sichtbar zu machen. Drehen wir entweder das analysirende oder das polarisirende Prisma um einen äusserst kleinen Winkel, so verschwindet die Gleichheit der Farbe und die beiden Hälften der Doppelplatte zeigen verschiedene Farben. Der Magnet wirkt wie eine solche Drehung. Den blaurothen Kreis sehen Sie jetzt vor sich auf dem Schirme (Fig. 44, wo *N* die Oeffnung der Lampe, *H* das erste Nicol'sche Prisma, *Q* die Quarzdoppelplatte, *L* eine Linse, *M* der Elektromagnet mit dem schweren Glase zwischen seinen durchbohrten Polen, und *P* das zweite Nicol ist). Erregen wir den Magnet durch einen Strom, so wird plötzlich die eine Hälfte des Bildes roth, die andere grün. Unterbrechen wir den Strom, so verschwindet der Unterschied und die frühere blaurothe Farbe tritt wieder hervor.

Die Wirkung hängt ausserdem von der Polarität des Magneten oder in anderen Worten von der Richtung der Ströme ab, welche den Magnet umfliessen. Kehren wir dieselbe um, so tritt das Roth und Grün wieder hervor; sie haben aber ihre Stellen vertauscht. Das Roth war vorher rechts, das Grün links; jetzt ist das Grün rechts, das Roth links. Mit dem grössten Scharfsinn hat Faraday alle diese Wirkungen unter-

Fig. 44.



sucht und ihre Gesetze erforscht. Lange Zeit blieb dieser Versuch mehr eine wissenschaftliche Merkwürdigkeit, als ein fruchtbringender Keim. Dass er Früchte von der höchsten Wichtigkeit tragen würde, davon war schon Faraday überzeugt, und neue Untersuchungen haben seine Ueberzeugung bestätigt.

§. 9. Farbenringe um die Axen der Krystalle.

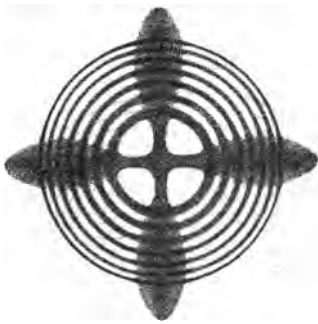
Es bedarf noch einiger Worte, um unsere Kenntniss hinsichtlich der wunderbaren Wechselwirkung zwischen

den wägbaren Molekülen und dem zwischen ihnen liegenden Aether zu vervollständigen. Symmetrie der molekularen Anordnung setzt Symmetrie in der Anordnung des Aethers voraus; umgekehrt auch Unsymmetrie der Atome Unsymmetrie des Aethers, und daraus folgt Doppelbrechung. Die Structur einer gewissen Classe von Krystallen ist homogen, und solche Krystalle bewirken keine Doppelbrechung. Bei gewissen Krystallen sind die Moleküle nur um eine gewisse Linie symmetrisch geordnet und nicht um andere Linien. In der Richtung der ersteren bleibt der Strahl daher ungetheilt, während wir in den anderen Richtungen immer Doppelbrechung haben. Eis bietet dafür ein bekanntes Beispiel; seine Moleküle sind mit vollständiger Symmetrie um die auf den Gefrierebenen senkrecht stehenden Linien angeordnet, und ein Strahl, der in dieser Richtung durch das Eis gesandt wird, wird nicht doppelt gebrochen, wogegen er es in allen anderen Richtungen wird. Doppelspath ist ein anderes Beispiel für dieselbe Erscheinung; seine Moleküle sind symmetrisch um die Linie geordnet, die die beiden stumpfen Ecken des Rhomboëders verbindet. In dieser Richtung erleidet ein Strahl keine Doppelbrechung; in jeder anderen geschieht es. Die Richtung, in der keine Doppelbrechung stattfindet, heisst die optische Axe des Krystalles.

Wird also eine Platte aus einem Doppelspathkrystall senkrecht gegen seine Axe geschnitten, so rufen alle Strahlen, die durch diese Platte in der Richtung der Axe gesandt werden, nur ein Bild hervor. Sobald wir aber die Strahlen gegen die Axe neigen, tritt Doppelbrechung ein. Wird also ein Strahl, der durch eine Sammellinse konisch gemacht ist, so durch den Doppelspath gesandt, dass der mittlere Strahl des Konus

in der Richtung der Axe geht, so wird dieser Strahl allein der doppelten Brechung entgehen. Jeder andere wird in einen ordentlichen und in einen ausserordentlichen Strahl getheilt werden, von denen sich der eine langsamer durch den Krystall bewegt als der andere; der eine also im Verhältniss zu dem anderen verzögert wird. Hier haben wir also die Bedingungen für eine

Fig. 45.



Interferenz, wenn die Wellen durch den Analysator auf eine gemeinsame Ebene zurückgeführt werden.

Stellen wir die Doppelspathplatte zwischen die gekreuzten Nicol'schen Prismen und benutzen den kegelförmigen Strahl, so erhalten wir auf dem Schirme ein schönes System von

Farbenringen, die das Ende der optischen Axe umgeben und von einem schwarzen Kreuz durchschnitten werden (Fig. 45). Die Arme dieses Kreuzes sind den beiden Schwingungsrichtungen im Polarisator und Analysator parallel. Man sieht leicht, dass alle Strahlen, deren Schwingungsebenen im Spathe mit der Schwingungsebene eines der Prismen übereinstimmen, nicht durch beide dringen können. Dieses vollständige Auslöschen des Lichtes erzeugt die Arme des Kreuzes. Die Ringe würden im einfarbigen Lichte nur hell und schwarz sein; die hellen Ringe erscheinen bei den Dicken des Spathes, bei denen die Strahlen sich addiren; die schwarzen Ringe bei den Dicken, bei denen sie sich gegenseitig auslöschen. Drehen wir den Analysator um 90° herum, so erhalten wir die complementären Erscheinungen. Das

schwarze Kreuz macht einem hellen Platz und jeder dunkle Ring wird ebenfalls durch einen hellen ersetzt (Fig. 46). Hier, wie auch sonst, entstehen bei Anwendung von weissem Lichte in Folge der verschiedenen Längen der Lichtwellen Regenbogenfarben.

Ausser den regelmässigen Krystallen, die in keiner Richtung Doppelbrechung erzeugen, und den einaxigen Krystallen, die sie in jeder Richtung ausser einer erzeugen, entdeckte Brewster, dass es bei einer

Fig. 46.

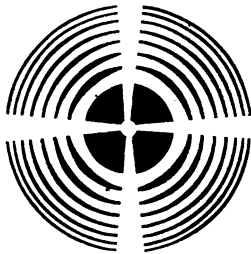
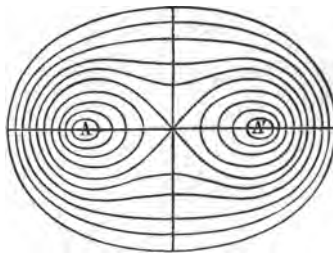


Fig. 47.



grossen Classe von Krystallen zwei Richtungen giebt, in denen die Doppelbrechung nicht eintritt. Diese werden zweiaxige Krystalle genannt. Werden richtig geschnittene Platten dieser Krystalle zwischen den Polarisator und den Analysator gebracht, so sieht man, wie die Axen (AA' , Fig. 47) nicht von Kreisen umgeben sind, sondern von Curven einer anderen Ordnung, aber von vollkommen bestimmtem mathematischen Charakter. Jedes Band bildet eine Lemniscate, wie Herschel durch Versuche bewiesen hat; doch ging hier, wie in unzähligen anderen Fällen, dem experimentellen Nachweise die Berechnung voraus, welche zeigte, dass nach der Undulationstheorie die Bänder diesen besonderen Charakter haben müssten.

§. 10. Tragweite der Wellentheorie.

Ich habe so weitläufig über die Polarisation selbst und über die Erscheinungen der Krystalle im polarisirten Lichte gesprochen, um Ihnen einen Einblick in die Sicherheit und Vollständigkeit zu geben, mit der die Theorie sie alle umfasst. Gehen wir von der einfachen Annahme der transversalen Schwingungen aus, so bestimmen wir vor Allem die Wellenlängen und finden, dass alle Farbenerscheinungen von ihnen abhängen. Die Wellenlänge kann auf verschiedenen, von einander unabhängigen Wegen bestimmt werden. Newton bestimmte sie, indem er die Perioden seiner Anwandlungen maass; die Länge einer Anwandlung ist in der That der vierte Theil einer Schwingungsdauer. Die Wellenlängen können durch die Beugungserscheinungen an einem Spalte (vgl. den Anhang) bestimmt werden; sie können aus Interferenzstreifen abgeleitet werden, die bei der Reflexion entstehen; ebenso aus den Streifen, die bei der Brechung entstehen; dann können sie auch durch die Interferenzstreifen bestimmt werden, die sich bilden, wenn Licht durch eine Glasplatte geht, in die mit einem Diamant in bestimmten Entfernungen Striche gezogen sind. Und werden dann die Wellenlängen, die auf so verschiedene Weise bestimmt worden sind, mit einander verglichen, so stimmen sie auf das Genaueste überein.

Mit Hülfe der so gemessenen Wellenlängen folgen wir dem Aether in die complicirtesten Verhältnisse seiner Wechselwirkungen mit der gewöhnlichen Materie; „die Theorie beherrscht sie alle gleich vollkommen. Sie stellt keine einzige neue physikalische Hypothese auf, sondern leitet aus ihrem ursprünglichen Vorrath von Gesetzen

den mathematischen Ausdruck von Allem ab, was die Beobachtung zeigt. Sie begründet, erklärt, vereinfacht die verwickeltsten Fragen, verbessert bekannte, sagt vorher und enthüllt unbekannte Gesetze und Thatsachen, sie wird der Führer ihrer früheren Lehrerin, der Beobachtung; und, geleitet durch mechanische Begriffe, gewinnt sie einen Einblick, der durch Form und Farbe bis zu Kraft und Ursache hindurch dringt¹⁾.

Und wenn ich mich so bemüht habe, die Bedeutung der Undulationstheorie bei der Lösung aller schwierigen Fragen der Optik vor Ihnen zu entwickeln, wünsche ich darum, dass Sie Ihre Augen gegen irgend einen dagegen etwa zu erhebenden Beweisgrund verschliessen? Keineswegs. Sie könnten anführen und mit Recht anführen, dass vor ungefähr hundert Jahren eine andere Theorie von den bedeutendsten Gelehrten angenommen wurde und dass, wie die damals angenommene Theorie fallen musste, so auch die Undulationstheorie vielleicht einmal fallen müsse. Dies erscheint an sich richtig, doch wollen wir den wirklichen Werth des Einwurfs prüfen. In ähnlicher Weise hätte man zu Zeiten Newton's oder auch selbst in unserer Zeit folgendermaassen schliessen können: Hipparch und Ptolemäus und viele grosse Männer nach ihnen glaubten, dass die Erde der Mittelpunkt des Sonnensystems sei. Aber diese tiefgewurzelte theoretische Ansicht musste weichen, und die heliocentrische Theorie ihrerseits muss vielleicht auch wieder weichen. Dies ist gerade so richtig, wie die erste Schlussfolgerung. Worin besteht die jetzige Bedeutung der Gravitationstheorie? Allein darin, dass sie im Stande ist, alle Erscheinungen des

¹⁾ Whewell.

Sonnensystems zu erklären. Worin besteht die jetzige Bedeutung der Undulationstheorie? Nur allein darin, dass sie Erscheinungen, die hundert Mal complicirter sind, als die des Sonnensystems, entwirren und erklären kann. Wenden Sie, wenn Sie wollen, den Skepticismus von Mill in Bezug auf die Undulationstheorie an; ist aber Ihr Skepticismus ein wissenschaftlicher, so muss er die Berechtigung der Gravitationstheorie in gleichem oder in noch höherem Grade in Zweifel ziehen ¹⁾).

§. 11. Die Bläue des Himmels.

Ich möchte nicht gern diese Farbenerscheinungen verlassen, ohne noch eine Farbenquelle zu erwähnen, die mir in der letzten Zeit oft im Blau des amerikanischen Himmels am Mittag und im tiefen Roth des Horizonts nach Sonnenuntergang vor Augen getreten ist. Ich will hier das zusammenfassen und weiter ausführen, was ich schon früher darüber gesagt habe. Man kann mit der grössten Sicherheit nachweisen, dass das blaue Licht des Firmaments reflectirtes Licht ist. Das Licht des Firmaments kommt zu uns in Richtungen, die gegen die Richtung der Sonnenstrahlen geneigt sind und selbst in einer gerade entgegengesetzten Richtung; und diese eigenartige Bewegung der Lichtwellen kann nur dem Zurückprallen der Wellen an der Luft selbst zugeschrieben werden oder an Theilchen, die in der Luft suspendirt sind. Die einzelnen Farben des Sonnenlichtes werden überdies vom Himmel nicht in dem Verhältniss verstreut, dass sie Weiss erzeugen können. Der Himmel

¹⁾ Die einzige mir bekannte Abhandlung über die Undulationstheorie aus der Feder eines amerikanischen Schriftstellers ist eine ausgezeichnete, in dem Smithsonian Report für 1862 publicirte Arbeit des Präsidenten Barnard.

ist blau, dies deutet ein Ueberwiegen von kleineren Wellen an. Als Grund für die blaue Farbe des Himmels ist angegeben worden, dass die Farbe der Luft blau sei; doch entsteht dabei die Frage: Wenn die Luft blau ist, wie kann dann das Licht bei Sonnenaufgang und Sonnenuntergang, das durch grosse Luftschichten hindurchgeht, gelb, orange oder selbst roth sein? Der Durchgang von weissem Sonnenlicht durch ein blaues Medium kann unmöglich das Licht roth färben; daher ist die Hypothese von der blaugefärbten Atmosphäre unhaltbar. Welches das Agens auch sei, durch welches uns das Licht des Himmels zugesendet wird, jedenfalls übt es in der That hierbei eine dichroitische Wirkung aus. Das reflectirte Licht ist blau, das durchgelassene Licht ist orange oder roth. Es zeigt sich so ein auffallender Unterschied zwischen der Reflexion vom Himmel und der von einer gewöhnlichen Wolke, die keine dichroitische Wirkung ausübt.

Die Wolke berücksichtigt in der That nicht die Grösse der Aetherwellen, sondern reflectirt sie alle gleichmässig. Der Grund hiervon kann sein, dass die Wolkentheilchen im Vergleich zur Grösse der Aetherwellen so gross sind, dass sie sie alle gleichmässig zerstreuen. Ein grosser Fels wirft eine Welle des Atlantischen Oceans ebenso leicht zurück, wie eine Kräuselung, die der Flügel eines Seevogels erzeugte, und so mag in der Nähe grosser reflectirender Oberflächen der Unterschied in der Grösse der Aetherwellen auch verschwinden. Nehmen wir aber an, dass die reflectirenden Theilchen, statt sehr gross zu sein, im Vergleich zur Grösse der Wellen sehr klein seien, dann wird, statt dass die ganze Welle das Hinderniss trifft und zum grossen Theil zurückgeworfen wird, nur ein kleiner

Theil durch das Hinderniss zersplittert. Denken Sie nun, diese kleinen fremden Theilchen seien in unserer Atmosphäre zerstreut. Wellen von allen Grössen fallen auf dieselben, und bei jeder Berührung wird ein Theil der auffallenden Welle zurückgeworfen. So unterliegen alle Wellen des Spectrums vom äussersten Roth bis zum äussersten Violett dieser Einwirkung; aber in welchem Verhältniss werden sie zerstreut werden? Grösse ist ein relativer Begriff, und je kleiner die Welle, desto grösser ist die relative Grösse jedes Theilchens, auf das die Welle auffällt, und desto grösser auch die relative Reflexion.

Ein kleiner Stein, der in den Weg der kreisförmigen Kräuselungen gelegt wird, die durch das Fallen schwerer Regentropfen auf einen ruhigen Teich erzeugt werden, reflectirt einen grossen Theil jeder auf ihn treffenden Kräuselung, während der von dem Stein reflectirte Theil einer grösseren Welle im Verhältniss zu der ganzen Welle unendlich klein sein kann. Damit nun das Sonnenlicht weiss bleibt, darf das Verhältniss seiner Bestandtheile nicht geändert werden. Wird aber das Licht durch sehr kleine Theilchen zerstreut, so sehen wir, dass dies Verhältniss geändert wird. Die kleineren Wellen überwiegen, und folglich ist Blau im zerstreuten Lichte die vorherrschende Farbe. Die anderen Farben des Spectrums müssen bis zu einem gewissen Grade auch dem Blau beigemischt sein; sie fehlen nicht, aber sie sind nur schwach vertreten. Wir müssen sie alle haben, aber in immer abnehmenden Mengen vom Violett zum Roth.

Wir sind so allmählich zu dem Schlusse gelangt, dass, wären in unserer Atmosphäre Theilchen zerstreut, die im Vergleich zur Grösse der Aetherwellen klein sind, das durch diese Theilchen zerstreute Licht genau

das gleiche sein müsste, wie das, welches wir an unserem azurblauen Himmel beobachten. Und wirklich, wenn das Licht analysirt wird, so finden wir darin alle Farben des Spectrums in den durch unsere Schlüsse angegebenen Verhältnissen.

Trifft derselbe Lichtstrahl nach einander auf immer neue und neue Theilchen, so wird das weisse Licht mehr und mehr seiner kürzeren Wellen beraubt; es verliert daher mehr und mehr sein ihm zukommendes Maass an Blau. Man kann das Resultat voraussagen. Das durchgelassene Licht wird da, wo es sich nur um kurze Strecken handelt, gelblich erscheinen. Sowie aber die Sonne gegen den Horizont sinkt, wächst der Weg des Lichtes durch die Atmosphäre und entsprechend die Zahl der zerstreuenen Theilchen. Sie schwächen nach einander das Violett, das Indigo, das Blau, und sogar das Grün. Die durchgelassene Farbe des Lichtes muss unter diesen Verhältnissen vom Gelb durch das Orange zum Roth übergehen. Wir finden dies ebenso in der Natur wieder. Während das reflectirte Licht uns um Mittag das tiefe Blau des Himmels der Alpen zeigt, bietet uns bei Sonnenuntergang das durchgelassene Licht das warme Purpurroth des Alpenglühens.

Kann man aber in der That nachweisen, dass kleine Theilchen auf die angegebene Weise wirken? Ohne Zweifel. Jeder von Ihnen kann diese Frage einer experimentellen Prüfung unterziehen. Wasser löst Harz nicht auf, wohl aber thut es Weingeist, und wird Weingeist, worin Harz aufgelöst ist, in Wasser gegossen, so scheidet sich das Harz augenblicklich in festen Theilchen aus und macht das Wasser milchig. Die Dichtigkeit dieses Niederschlages hängt von der Menge des aufgelösten Harzes ab. Professor Brücke hat das Verhältniss an-

gegeben, das die für unseren Versuch geeignetsten Theilchen ergibt. Ein Gramm von reinem Mastix wird in siebenundachtzig Gramm absolutem Alkohol aufgelöst und die durchsichtige Lösung wird tropfenweise in ein Becherglas voll klarem Wasser gegossen, das schnell umgerührt wird. So erhält man einen ausserordentlich feinen Niederschlag, der sein Dasein durch seine Wirkung auf das Licht anzeigt. Stellen wir einen dunklen Körper hinter das Gefäß und lassen das Licht von oben oder von vorn hineinfallen, so erscheint das Medium schön himmelblau gefärbt. Eine Spur Seife im Wasser giebt ihm einen blauen Schein. Die Farbe der Londoner Milch ist eine ähnliche in Folge derselben Ursache, und Helmholtz hat unbarmherzig die That- sache enthüllt, dass ein blaues Auge nur ein trübes Medium ist.

§. 12. Künstlicher Himmel.

Wir haben es in der Hand, die natürlichen Bedingungen dieses Problems noch viel vollkommener nachzuahmen. Wir können in der Luft künstliche Himmel erzeugen und ihre vollkommene Identität mit dem natürlichen in einer Anzahl gänzlich unerwarteter Erscheinungen nachweisen. Ich habe kürzlich durch viele Beispiele bewiesen, dass Aetherwellen, die von einer starken Lichtquelle, wie von der Sonne oder von dem elektrischen Lichte, kommen, fähig sind, die Atome der Gasmoleküle von einander zu trennen. Der hierzu benutzte Apparat besteht aus einer Glasröhre von ungefähr einer Elle Länge und von $2\frac{1}{2}$ bis 3 Zoll innerem Durchmesser. Das Gas oder der Dampf, die untersucht werden sollen, werden in diese Röhre eingeführt, und

man lässt den condensirten Strahl der elektrischen Lampe darauf wirken. Der Dampf wird so gewählt, dass wenigstens eines seiner Zersetzungsproducte unmittelbar nach der Bildung als eine Art Wolke sich niederschlägt. Stuft man die Menge des Dampfes ab, so kann man diesen Niederschlag in beliebiger Feinheit erhalten, er kann Theilchen bilden, die dem unbewaffneten Auge sichtbar sind, und Theilchen, die weit jenseits des Bereiches unserer kräftigsten Mikroskope liegen. Ich habe keinen Grund zu bezweifeln, dass wir so Theilchen erhalten könnten, deren Durchmesser nur einen kleinen Bruchtheil der Wellenlänge des violetten Lichtes ausmachen würde.

Nun fängt aber bei allen geeigneten Dämpfen, wenn sie in einem genügend verdünnten Zustand angewendet werden, die sichtbare Wirkung immer mit der Bildung einer blauen Wolke an. Ich möchte mich gleich beim Beginn gegen jede Missdeutung bei der Benutzung dieses Ausdrucks verwahren. Die hier besprochene blaue Wolke ist bei gewöhnlichem Tageslichte vollständig unsichtbar. Um sichtbar zu werden, muss sie von tiefster Dunkelheit umgeben sein und nur sie allein von einem mächtigen Lichtstrahl erleuchtet werden. Diese Wolke unterscheidet sich in vielen wichtigen Einzelheiten von den dünnsten gewöhnlichen Wolken und kann füglich eine Zwischenstellung zwischen diesen Wolken und wirklich wolkenlosem Dampf einnehmen.

Man kann die Theilchen dieser actinischen Wolke von einer unendlich kleinen und weit unter dem Bereich des Mikroskops liegenden Grösse bis zur sichtbaren Grösse anwachsen lassen; und durch diese Theilchen können wir, bei einem gewissen Stadium ihrer Grösse, ein Blau erzeugen, das mit dem tiefsten und reinsten

italienischen Himmel wetteifert, wenn es ihn nicht noch übertrifft. Wir führen in unsere Röhre eine kleine Menge eines Gemisches von Luft und Dampf von Butylnitrit ein, die die Quecksilbersäule einer Luftpumpe um das Zwanzigstel eines Zolles niederdrückt, fügen eine Menge von Luft und Salzsäure hinzu, die das Quecksilber noch um einen halben Zoll tiefer niederdrückt, und senden dann durch dieses sehr verdünnte Gasmisch den Strahl des elektrischen Lichtes. Allmählich leuchtet in der Röhre ein glänzendes Azurblau auf, das eine Zeitlang zunimmt, ein Maximum von Tiefe und Reinheit erreicht und dann, wenn die Theilchen grösser werden, in ein weissliches Blau übergeht. Es ist dies ein charakteristischer Versuch, der ein allgemeines Gesetz darlegt. Es können viele andere farblose Substanzen von den verschiedensten optischen und chemischen Eigenschaften zu diesem Versuch verwendet werden. Die beginnende Wolke würde auf jeden Fall dieses leuchtende Blau zeigen und so augenscheinlich beweisen, dass Theilchen von unendlich kleiner Grösse, ohne irgend eine eigene Farbe und unabhängig von den optischen Eigenschaften, die die Substanz im dichteren Zustande zeigt, befähigt sind, die blaue Farbe des Himmels zu erzeugen.

§. 13. Polarisation des Himmelslichtes.

Es ist aber an unserem Firmament noch ein anderes, viel feineres und tiefer verborgenes Phänomen zu beobachten, als selbst seine Farbe. Ich meine „die geheimnissvolle und schöne Erscheinung“, wie Sir John Herschel sie nennt, die Polarisation des Himmelslichtes. Betrachten wir verschiedene Stellen des

blauen Firmamentes durch ein Nicol'sches Prisma und drehen das Prisma um seine Axe, so beobachten wir bald Veränderungen der Helligkeit. In gewissen Stellungen des Prismas und von gewissen Stellen des Firmamentes aus scheint das Licht vollkommen durchgelassen zu werden, während man nur das Prisma um seine Axe um einen Winkel von neunzig Grad zu drehen braucht, um die Intensität des Lichtes bedeutend zu vermindern. Versuche dieser Art beweisen, dass das blaue Licht, das uns vom Firmamente gesandt wird, polarisirt ist, und bei genauer Untersuchung finden wir auch, dass die Richtung der vollkommensten Polarisation senkrecht zu den Sonnenstrahlen steht. Wäre das himmlische Blau gleich dem gewöhnlichen Lichte der Sonne, so würde die Drehung des Prismas keinen Einfluss auf dasselbe ausüben; es würde während der ganzen Umdrehung des Prismas gleichmässig durchgelassen werden. Das Licht des Himmels mag zum grossen Theil ausgelöscht werden, weil es zum grossen Theil polarisirt ist.

Diese selbe Erscheinung wird ebenso vollkommen von unseren actinischen Wolken hervorgerufen; die einzige nothwendige Bedingung zu ihrem Auftreten ist die Kleinheit der Theilchen. In allen Fällen und bei allen Substanzen ist die im Anfang gebildete Wolke, wenn die niedergeschlagenen Theilchen genügend fein sind, blau. In allen Fällen polarisirt überdies diese zarte blaue Wolke vollkommen den Strahl, der sie beleuchtet; die Richtung der Polarisation bildet dabei einen Winkel von 90° mit der Axe des beleuchtenden Strahles.

Ausserordentlich interessant ist es, sowohl die Zunahme, als auch die allmähliche Abnahme dieser Polarisation zu beobachten. Betrachtet man zehn oder fünf-

zehn Minuten nach dem ersten Auftreten das Licht einer lebhaft beleuchteten, beginnenden Wolke in horizontaler Richtung, so wird es von einem Nicol'schen Prisma, dessen längere Diagonale vertical steht, vollständig ausgelöscht. Indess wie das Himmelsblau allmählich durch die Einführung von zu grossen Theilchen trübe wird oder mit anderen Worten, sowie wirkliche Wolken sich zu bilden anfangen, beginnt die Polarisation schwächer zu werden; ein Theil des Lichtes geht durch das Prisma in allen seinen Stellungen, wie es beim Himmelslichte auch geschieht. Es ist bemerkenswerth, dass einige Zeit nach dem Aufhören der vollkommenen Polarisation, wenn das Nicol'sche Prisma in der Lage des geringsten Durchganges ist, das restirende Licht, welches hindurchgeht, vom wunderbarsten tiefen Blau ist, da das weissere Licht der Wolke vernichtet wird. Ist die Bildung der Wolken soweit fortgeschritten, dass sie sich den gewöhnlichen Wolken nähern, so hat die Drehung des Nicol'schen Prismas keinen bemerkenswerthen Einfluss mehr auf das Licht, das im rechten Winkel zum Strahl ausgesandt wird.

Die Vollkommenheit der Polarisation in einer zu dem beleuchtenden Strahl senkrechten Richtung kann auch durch den folgenden Versuch, der mit vielen Dämpfen angestellt wurde, nachgewiesen werden. Ein Nicol'sches Prisma von genügender Grösse, um den ganzen Strahl der elektrischen Lampe aufzunehmen, wurde zwischen die Lampe und die Versuchsröhre gestellt. Ich liess den durch das Nicol'sche Prisma polarisirten Strahl durch die Röhre gehen, stellte mich davor, so dass mein Auge in einer Horizontalebene mit ihrer Axe war, während mein Assistent die ähnliche Stellung hinter der Röhre einnahm. Die kurze Diagonale des

grossen Nicols war zuerst vertical, daher war auch die Schwingungsebene des austretenden Strahles vertical. Als das Licht fortfuhr zu wirken, wurde allmählich eine, sowohl meinem Assistenten, als auch mir sichtbare prächtig blaue Wolke gebildet. Aber diese Wolke, die so tief und reich gefärbt erschien, wenn sie aus den angegebenen Stellungen beobachtet wurde, verschwand ganz, wenn man sie vertical von oben oder von unten ansah. Eine Reflexion von der Wolke nach diesen Richtungen war nicht möglich. Wurde das grosse Nicol'sche Prisma langsam um seine Axe gedreht, und war das Auge des Beobachters im Niveau des Strahles, die Sehlinie aber senkrecht zu demselben, so wurde das horizontal ausgestrahlte Licht vollständig ausgelöscht, wenn die längere Diagonale des grossen Nicols vertical stand. Jetzt sah man aber eine lebhaft blaugefärbte Wolke, wenn man von oben oder von unten hineinsah. Zu diesem wirklich schönen Versuch, den ich sicherlich auch ohne eine besondere Anregung gemacht haben würde, wurde ich durch eine briefliche Mittheilung des Herrn Professor Stokes veranlasst, der ihn als eine sicher eintretende Thatsache voraussagte.

Alle Farben- und Polarisationserscheinungen, die man beim Himmelslichte beobachten kann, treten auch bei diesen actinischen Wolken auf; und sie zeigen noch andere Erscheinungen, die am wirklichen Firmament schwer zu verfolgen, vielleicht unmöglich zu entdecken wären. Sie ermöglichen es uns, z. B. die Polarisation von ihrer ersten Erscheinung auf dem kaum sichtbaren Blau bis zu ihrer endlichen Vernichtung in der dichteren Wolke zu verfolgen. Diese Veränderungen können wir, so weit es jetzt für uns von Interesse ist, folgendermaassen zusammenfassen:

1. Die actinische Wolke sendet polarisirtes Licht nach allen Richtungen aus, so lange sie blau bleibt, doch ist die Richtung der stärksten Polarisation, gleich der des Himmelslichtes, senkrecht zur Richtung des beleuchtenden Strahles.

2. So lange die Wolke deutlich blau bleibt, ist das Licht, das von ihr im rechten Winkel zum beleuchtenden Strahle ausgestrahlt wird, vollständig polarisirt. Es kann durch ein Nicol'sches Prisma vollständig ausgelöscht werden, und die Wolke, von der es ausgeht, verschwindet dabei. Bei jeder Abweichung von der senkrechten Richtung kann ein Theil des Lichtes durch das Prisma hindurchgehen.

3. Die Richtung der Schwingungen des polarisirten Lichtes ist senkrecht zu dem erleuchtenden Strahl. Daher fängt eine Turmalinplatte, deren Axe auf dem Strahl senkrecht steht, das Licht auf und lässt, wenn ihre Axe dem Strahl parallel ist, das Licht hindurch.

4. Eine Gypsplatte zwischen dem Nicol'schen Prisma und der actinischen Wolke zeigt die Farben des polarisirten Lichtes; in der That spielt die Wolke selbst die Rolle eines polarisirenden Nicols.

5. Die Theilchen der blauen Wolke sind unmessbar klein, aber ihre Grösse wächst allmählich, und bei einer bestimmten Periode ihres Wachsens hören sie auf, vollkommen polarisirtes Licht auszugeben. Einige Zeit nachher ist das Licht, welches das Auge durch das Nicol in seiner Lage des geringsten Durchganges erreicht, prächtig blau und übertrifft an Tiefe und Reinheit weit aus das des blauen Himmels. So sind die Wellen, welche zuerst den Einfluss der Grösse empfinden, an beiden Grenzen der Polarisation die kürzesten Wellen des Spectrums. Diese nehmen zuerst die Polarisation an und entziehen sich derselben zuerst.

Fünfte Vorlesung.

Das Auge kann nicht alle Strahlen sehen. — Die ultravioletten Strahlen. — Fluorescenz. — Unsichtbare Strahlen sichtbar zu machen. — Das Sehen ist nicht der einzige Sinn, den der Sonnen- und der elektrische Strahl erregt. — Wärme des Strahles. — Verbrennung durch den ganzen Strahl im Brennpunkte der Spiegel und Linsen. — Verbrennung durch Eislinen. — Verbrennung des Diamanten. — Aufsuchung der hier wirksamen Strahlen. — Sir William Herschel's Entdeckung der dunkeln Sonnenstrahlen. — Die unsichtbaren Strahlen die Basis der sichtbaren. — Trennung der unsichtbaren Strahlen von den sichtbaren durch ein Strahlenfiltrum. — Verbrennung im dunkeln Brennpunkte. — Verwandlung von Wärmestrahlen in Lichtstrahlen. — Calorescenz. — Die Rolle der dunklen Strahlen in der Natur. — Identität des Lichtes und der strahlenden Wärme. — Unsichtbare Bilder. — Reflexion, Brechung, lineare Polarisation, Depolarisation, kreisförmige Polarisation, Doppelbrechung und Magnetisirung der strahlenden Wärme.

§. 1. Grenzen des Sehens und der Strahlung.

Die erste Frage, die wir heute Abend zu besprechen haben, ist die folgende: Ist das Auge, das Organ des Sehens, fähig, die ganze Fülle der Sonnenstrahlung zu erfassen — ist es ihm möglich, sichtbare Eindrücke von allen Strahlen, die die Sonne aussendet, aufzunehmen? Die Antwort ist: nein! Wollten wir uns erlauben, uns für einen Augenblick jenen Begriff des all-

mählichen Wachsens, Verbesserns und Aufsteigens anzueignen, der im Worte „Evolution“ liegt, so könnten wir sicherlich daraus schliessen, dass noch grosse Gebiete von sichtbaren Eindrücken einst dem Menschen zugänglich werden, weit grössere als diejenigen, die er jetzt sein eigen nennt. Ritter entdeckte z. B. im Jahre 1801, dass jenseits des äussersten Violett im Spectrum noch eine grosse Menge von Strahlen läge, die für unser jetziges Sehvermögen vollkommen nutzlos sind. Diese ultravioletten Wellen können indess, obgleich sie nicht befähigt sind, den optischen Nerven zu reizen, die Moleküle bestimmter chemischer Verbindungen, auf die sie treffen, so durch einander schütteln, dass sie deren chemische Zersetzung bewirken.

Aber obgleich die blauen, violetten und ultravioletten Strahlen in dieser Weise auf gewisse Substanzen wirken können, so ist diese Thatsache doch kaum genügend, sie als „chemische Strahlen“ von den anderen Bestandtheilen des Spectrums zu unterscheiden. In ihrer Wirkung auf Silbersalze und viele andere Substanzen — verdienen sie vielleicht diesen Namen; aber in dem grossartigsten Beispiele der chemischen Wirkung des Lichtes, in der Zersetzung der Kohlensäure in den Pflanzenblättern, an die sich der Name meines ausgezeichneten Freundes Dr. Draper, der jetzt nicht mehr unter den Lebenden weilt, für immer knüpft, erwiesen sich die gelben Strahlen als die wirksamsten.

Auf einige Substanzen wirken indess die violetten und ultravioletten Wellen besonders stark zersetzend, und lässt man das unsichtbare Spectrum auf Oberflächen fallen, die mit solchen Substanzen präparirt sind, so können wir sowohl die Existenz, als auch die Ausdehnung des ultravioletten Spectrums nachweisen.

§. 2. Ultraviolette Strahlen. Fluorescenz.

Es ist längst bekannt, dass man die ultravioletten Strahlen durch ihre chemische Wirkung nachweisen kann; in der That photographirte Thomas Young die ultravioletten Newton'schen Ringe. Wir wollen jetzt ihre Anwesenheit auf einem anderen Wege zeigen. Es ist eine allgemeine Regel, dass Körper Licht absorbiren oder hindurchlassen; indess giebt es noch einen dritten Fall, wo das auf einen Körper fallende Licht weder absorbiert noch hindurchgelassen, sondern in Licht von einer andern Art verwandelt wird. Professor Stokes, der jetzt den früher von Newton an der Universität Cambridge innegehabten Lehrstuhl einnimmt, hat diese Umwandlung der einen Art des Lichtes in die andere nachgewiesen und seine Experimente so weit fortgeführt, dass er die unsichtbaren Strahlen sichtbar machte.

Stokes hat eine grosse Zahl von Substanzen untersucht, die bei ihrer Erregung durch die ultravioletten Strahlen Licht aussenden. Sie kennen die Schwingungszahl der dem äussersten Violett des Spectrums entsprechenden Wellen; Sie wissen, dass, um den Eindruck dieser Farbe hervorzurufen, die Retina in einer Secunde 789 Billionen Mal von den Lichtschwingungen getroffen werden muss. Von diesem Punkte an hört die Retina auf, ein brauchbares Organ für das Sehen zu sein, denn schneller sich wiederholende Schwingungen, die auf sie fallen, sind unfähig, das Gefühl des Lichtes zu erzeugen. Aber wenn solche nicht sichtbaren Wellen auf die Moleküle gewisser Substanzen fallen, z. B. auf schwefelsaures Chinin, so zwingen sie diese Moleküle oder ihre Atome,

zu schwingen; und es ist eigenthümlich, dass die so erzeugten Schwingungen eine kleinere Schwingungsdauer, als die erregenden Wellen, besitzen. In Folge dieser Verminderung der Schwingungszahl durch die Vermittelung des schwefelsauren Chinins werden die unsichtbaren Strahlen in sichtbare verwandelt. Wir werden später reichlich Gelegenheit haben zu erfahren, dass Durchlässigkeit für die sichtbaren Strahlen keineswegs Durchlässigkeit für die unsichtbaren Strahlen bedingt. Schwefelkohlenstoff z. B., der in Hohlprismen für Versuche mit den sichtbaren Strahlen so sehr geeignet ist, ist es keineswegs für diese ultravioletten Strahlen. Flintglas eignet sich besser, noch besser Bergkrystall. Für unsere gegenwärtigen Zwecke genügt indess ein Glasprisma.

Werfen wir mittelst eines solchen Prismas ein Spectrum, nicht auf die weisse Oberfläche des Schirmes, sondern auf ein Blatt Papier, welches mit einer gesättigten Lösung von schwefelsaurem Chinin benetzt und nachher getrocknet ist, so zeigt sich deutlich die Ausdehnung des Spectrums. Zunächst erscheint uns nun ein Theil des Violett weisser und glänzender, aber neben demselben haben wir noch das Aufleuchten von Farbe, wo sonst auf nicht präparirtem Papiere nichts zu sehen ist. Andere Substanzen wirken ähnlich, und eine neuerdings vom Präsidenten Morton entdeckte Substanz, das Thallen, ruft eine sehr auffallende Verlängerung des Spectrums hervor; das neu erzeugte Licht ist von ganz besonderem Glanz.

Flussspath und einige andere Substanzen senden Licht aus, wenn sie noch nicht bis zum Rothglühen erhitzt sind. Jahrhunderte hindurch seit ihrer Bildung scheinen diese Substanzen die Fähigkeit, den Aether in sichtbare Schwingungen zu versetzen, besessen zu haben.

Das Licht war in ihnen während dieser ganzen Zeit latent (potentiell); indess vermag die Wärme, wie Draper es so gut erklärt hat, selbst wenn ihre Intensität zu gering ist, um sich dem Auge zu offenbaren, doch die Moleküle von einander zu lösen, so dass sie die in ihnen lange latent gewesene Fähigkeit zu schwingen auch wirklich ausüben. Das Verhalten des Flussspathes bestimmte Stokes bei der Wahl eines Namens für seine grosse Entdeckung, er nannte dieses Sichtbarmachen der ultravioletten Strahlen Fluorescenz.

Mittelst eines dunkel violett gefärbten Glases schneiden wir fast alles Licht von unserem elektrischen Strahle ab; aber dieses Glas ist für die violetten und ultravioletten Strahlen besonders durchlässig. Der violette Strahl geht jetzt durch einen grossen Trog voll Wasser, in den ich eine Lösung von schwefelsaurem Chinin giesse; sogleich scheinen dunkle Wolken niederzuwallen. Stückchen von Rosskastanienrinde, die auf das Wasser geworfen werden, senden ebenfalls schöne, wolkenartige Streifen hinab. Aber es sind dies keine Wolken; nichts wird niedergeschlagen: die beobachtete Wirkung ist eine Wirkung der Moleküle, nicht der suspendirten Theilchen. Das Medium vor Ihnen ist kein trübes Medium, denn wenn Sie durch dasselbe gegen eine leuchtende Fläche blicken, so erscheint es vollkommen klar.

Zeichnen wir eine Blume oder einen Blumenstrauss mit schwefelsaurem Chinin auf ein Stück Papier und setzen es dem vollen Strahle der elektrischen Lampe aus, so sehen wir kaum etwas. Bringen wir aber das violette Glas dazwischen, so leuchtet die Zeichnung sofort in starkem Contrast zu dem dunkeln umgebenden Violett auf. Präsident Morton hat für mich eine sehr schöne

derartige Zeichnung entworfen, die im violetten Lichte eine eigenthümlich glänzende Fluorescenz zeigt. Nach den Versuchen von Dr. Bence Jones und Dupré möchte es scheinen, als wenn auch im menschlichen Körper eine dem schwefelsauren Chinin ähnliche Substanz enthalten wäre, durch welche alle Gewebe des Körpers mehr oder weniger fluoresciren. Alle thierischen Infusionen zeigen diese Fluorescenz. Die Krystalllinse des Auges zeigt diese Erscheinung in sehr auffallender Weise. Bringe ich z. B. mein Auge in unsern violetten Strahl, so bemerke ich einen blauweissen Schimmer, der den Raum vor mir erfüllt. Der Schimmer rührt von dem im Auge selbst erzeugten Fluorescenzlichte her. Von aussen gesehen, leuchtet die Krystalllinse des Auges zur selben Zeit lebhaft auf.

Lange ehe der physikalische Ursprung des Fluorescenzlichtes ergründet war, zog dasselbe die Aufmerksamkeit auf sich. Boyle beschreibt es mit grosser Ausführlichkeit und Genauigkeit. „Wir haben öfter“, sagt er, „in den Läden unserer Droguisten eine Holzart gefunden, welche *Lignum Nephriticum* genannt wird, weil die Bewohner des Landes, wo es wächst, eine Infusion desselben in reinem Wasser gegen Nierensteine anwenden. Mit diesem Holze können wir einen Versuch anstellen, der ausser seiner Eigenthümlichkeit einem aufmerksamen Beobachter auch bei der Ergründung der Natur der Farben viel helfen kann. Man nehme *Lignum Nephriticum* und schneide es mit einem Messer in dünne Späne; etwa eine Hand voll von diesen Spänen werfe man in zwei, drei oder vier Pfund ganz reinen Quellwassers und fülle dann das imprägnirte Wasser in eine Glasflasche. Hält man nun die Flasche grade zwischen das Licht und das Auge, so

erscheint das Wasser durchweg mit einer fast goldgelben Farbe gefärbt. Hält man aber die Flasche vom Lichte abgewendet, so dass sich das Auge zwischen dem Fenster und der Flasche befindet, so erscheint die Flüssigkeit tief und schön bläulich gefärbt.“

„Diese und ähnliche, bei diesem schönen Experimente von mir beobachteten Phänomene“, fährt er fort, „sind auch von einigen meiner Freunde mit grosser Verwunderung gesehen worden. Ein ausgezeichnet tüchtiger Augenarzt, der zufällig in dem Zimmer eines Freundes eine, mit dieser Flüssigkeit gefüllte Flasche, die ich dem Freunde gegeben hatte, fand, und der nie etwas von dem Versuche gehört hatte, und in dessen Nähe auch Niemand war, der ihm sagen konnte, was diese seltsame Flüssigkeit wäre, fürchtete längere Zeit, wie er mir nachher sagte, dass ein neues seltsames Leiden seine Augen ergriffen hätte. Und ich gestehe, dass mich die Ungewöhnlichkeit des Phänomens sehr reizte, die Ursache dieser Erscheinung aufzufinden; und obgleich ich weit davon entfernt bin zu glauben, dass ich die Ursache gefunden, meine ich doch, dass meine Untersuchungen solche Andeutungen geben, dass sie einen höher begabten Geist zu der Entdeckung der Ursache dieses Wunders führen können ¹⁾.“

Goethe²⁾ beschreibt in seiner „Farbenlehre“ folgendermaassen die Fluorescenz von Rosskastanienrinde. — „Man nehme einen Streifen frischer Rinde von der Rosskastanie und lege denselben in ein Glas Wasser, und in kürzester Zeit wird das vollkommenste Himmelblau entstanden sein.“

¹⁾ Boyle's Werke, engl. Ausgabe von Birch. Vol. 1, p. 729 u. 730. — ²⁾ Goethe's sämtliche Werke. Ausgabe in 40 Bänden. 1840. Bd. 40, S. 28. Nachträge zur Farbenlehre Nr. 10.

Sir John Herschel beobachtete und beschrieb die Fluorescenz von schwefelsaurem Chinin zuerst und zeigte, dass das Licht von einer dünnen Schicht der Lösung ausging, die der Eintrittsstelle des Lichtes zunächst lag. Er zeigte ausserdem, dass der einfallende Strahl, obgleich seine leuchtende Kraft nicht merklich geschwächt war, doch die Kraft verloren hatte, das blaue fluorescirende Licht bei dem Durchgange durch die Chininlösung zu erzeugen. Sir David Brewster arbeitete ebenfalls über die Fluorescenz; doch verdanken wir Stokes nicht nur die Erweiterung unserer Kenntnisse, sondern auch eine vollständige und endgültige Erklärung der Erscheinung.

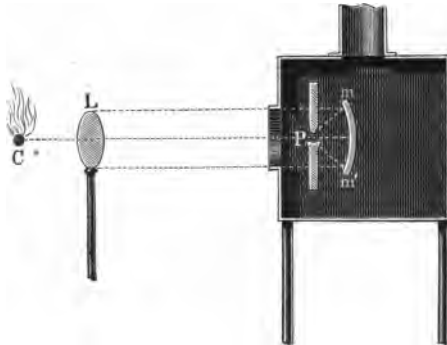
§. 3. Die Wärme des elektrischen Strahles.
Entzündung durch Eislinsen. Mögliche Temperatur des Kometen.

Indess wirken die Wellen unserer weissglühenden Kohlenspitzen noch auf einen andern Sinn, als auf den des Gesichtes: Sie erzeugen nicht nur Licht, sondern auch Wärme als eine Empfindung. Das vergrösserte Bild der Kohlenspitzen ist jetzt auf dem Schirme; und mit einem geeigneten Instrumente könnte man die erwärmende Kraft der Strahlen, die das Bild erzeugen, leicht nachweisen. Doch ist in diesem Falle die Wärme über eine zu grosse Fläche ausgebreitet, um sehr intensiv zu sein. Stellen wir die Linsen weiter hinaus und nähern unserer Lampe einen beweglichen Schirm, so sehen wir, wie das Bild kleiner und kleiner wird; zu gleicher Zeit concentriren sich die Strahlen, bis es ihnen endlich möglich wird, in schwarzes Papier einen Ring zu brennen. Schieben wir die Linsen zurück, um

die Strahlen parallel zu machen und fangen sie auf einem Hohlspiegel auf, so werden sie in einem Brennpunkte vereint, und Papier, das in denselben gebracht wird, raucht und brennt. Wärme von solcher Intensität können wir mit unserer gewöhnlichen Camera und unseren Linsen, sowie mit Hülfe eines ziemlich kleinen Hohlspiegels erhalten.

Wir wollen jetzt stärkere Mittel bei der Ausstrahlung anwenden. In diese grössere Camera von geschwärztem Blech ist eine Lampe gestellt, die in allen Einzelheiten der schon benutzten ähnlich ist. Doch statt die Strahlen der Kohlenspitzen mit einer Sammellinse aufzufangen, fangen wir sie jetzt durch einen Hohlspiegel mm' (Fig. 48)

Fig. 48.



auf, der vorn versilbert und hinter die Kohlenspitzen (P) gestellt ist. Mittelst dieses Spiegels zwingen wir die Strahlen, durch die Oeffnung vorn in der Camera auszustrahlen, sei es parallel oder convergirend. Jetzt sind sie parallel, und daher bis zu einem gewissen Grade auf einer grösseren Fläche zerstreut. Wir stellen eine convexe Linse (L) in den Weg des Strahles; das Licht läuft in einen Brennpunkt (C) zusammen und in diesem Focus wird Papier nicht nur durchbohrt, sondern sogleich entzündet.

Auf diese Art können viele Metalle verbrannt werden. In unserer ersten Vorlesung erwähnten wir die Brennbarkeit des Zinks. Stellen wir einen Streifen Zinkblech in den Brennpunkt, so wird er sogleich entzündet und brennt mit einer ihm eigenthümlichen purpurrothen Flamme. Und nun will ich statt unserer Glaslinse (*L*) eine Linse von ganz besonderer Art anwenden. Diese Linse von durchsichtigem Eis ist in einer glatten eisernen Schale geformt worden. Stelle ich sie an den Ort, den bis jetzt die Glaslinse eingenommen hatte, so kann ich sehen, wie der Strahl in einem eng begrenzten Brennraum vereint wird. In diesen Focus lege ich ein Stückchen schwarzes Papier, in das etwas Schiessbaumwolle eingewickelt ist. Das Papier entzündet sich augenblicklich und die Baumwolle explodirt. Ist es nicht merkwürdig, dass der Strahl eine so starke erwärmende Kraft besitzt, nachdem er durch eine so kalte Masse gegangen? Es gelang Dr. Scoresby auf seinen arktischen Reisen, Schiesspulver durch Sonnenstrahlen explodiren zu lassen, die durch grosse Eislinsen gesammelt waren; hier haben wir das Resultat durch eine kleine Linse und durch eine irdische Wärmequelle erzielen können.

Sie beobachten bei diesem Versuche, dass der Strahl, ehe er die Eislinse erreicht, durch ein mit Wasser gefülltes Glasgefäss gegangen ist. Der Strahl wird so von Bestandtheilen befreit, die, wenn man sie auf die Linse fallen liesse, ihre Oberfläche verletzen, und dadurch das Bild im Brennpunkte trüben würden. Dies veranlasst mich, schon im Voraus ein Wort über die Durchsichtigkeit zu sagen. Wir beschäftigten uns in unserer ersten Vorlesung ausführlich mit der Erzeugung der Farben durch Absorption und sprachen wiederholt über

das Auslöschen der Lichtstrahlen. Sollte das heissen, dass das Licht vollständig vernichtet würde? Keineswegs. Es wurde nur in seiner Brechbarkeit so geschwächt, dass es unseren Sehorganen entging. Es wurde in Wärme verwandelt. Unser rothes Band im Grün des Spectrums löschte das Grün aus, doch würden wir bei genauer Untersuchung eine Erhöhung seiner Temperatur gefunden haben. Unser grünes Band im Roth des Spectrums löschte das Roth aus, doch wurde seine Temperatur zu gleicher Zeit dem ausgelöschten Lichte genau entsprechend erhöht. Unser schwarzes Band vermochte, wenn es durch das Spectrum gezogen wurde, alle seine Farben auszulöschen; doch wurde bei jeder Lage desselben eine Wärmemenge im Bande erzeugt, die genau dem Verluste an Licht entsprach. Nur wenn Absorption eintritt, kann Wärme so erzeugt werden; und Wärme ist immer eine Folge von Absorption.

Untersuchen Sie das Wasser, das vor der Lampe stand, nachdem der Strahl hindurchgegangen ist: es ist merklich wärmer geworden, und liesse man es noch lange dort stehen, so würde es zuletzt sieden. Die Erwärmung ist der Absorption eines Theiles des elektrischen Strahles durch das Wasser zuzuschreiben. Indess geht ein Theil unabsorbirt hindurch und beeinflusst in keinerlei Weise die Erwärmung des Wassers. Nun ist auch Eis zum grossen Theil für diese letzteren Strahlen durchlässig und wird daher nur unbedeutend von ihnen geschmolzen; daher bleibt, wenn wir diesen besonderen Theil des Strahles verwenden, unsere Linse intact und wir bekommen einen scharf bestimmten Brennpunkt. Weisses Papier wird in diesem Brennpunkte nicht entzündet, weil es die Strahlen, die durch die Eislinse

hindurchgehen, nicht absorbiren kann. Dagegen brennt schwarzes Papier daselbst augenblicklich, weil es das durchgelassene Licht absorbiert.

Hier mag eine Schätzung Newton's erwähnt werden, die auf unsicheren Daten beruht, aber von verschiedenen bedeutenden Astronomen nach ihm wiederholt worden ist. Als der Komet von 1680 der Sonne am nächsten stand, war er nur um ein Sechstel des Sonnendurchmessers von ihrer Oberfläche entfernt. Newton schätzte seine dortige Temperatur auf mehr als das Zweitausendfache von derjenigen des schmelzenden Eisens. Indess ist zu beachten, dass die Temperatur des Kometen nicht aus der Sonnennähe abgeleitet werden kann. Wäre sein Absorptionsvermögen klein genug, so könnte der Komet die eisige Temperatur des Sternenraumes, die er ursprünglich besitzt, mit in die Sonnennähe bringen.

§. 4. Verbrennung eines Diamanten durch strahlende Wärme.

Der Versuch, einen Diamanten in Sauerstoff durch die concentrirten Sonnenstrahlen zu verbrennen, wurde in Florenz in Gegenwart von Sir Humphry Davy Dienstag den 27. März 1814 wiederholt. Faraday beschreibt ihn folgendermaassen: „Heute stellten wir den grossen Versuch der Verbrennung des Diamanten an, und wirklich waren die eintretenden Erscheinungen ausserordentlich schön und interessant. Eine Glaskugel, die ungefähr 22 Kubikzoll fasste, wurde ausgepumpt und mit reinem Sauerstoff gefüllt. Der Diamant befand sich in der Mitte der Kugel. Wir benutzten das Brennglas des Herzogs, um den Diamanten zu erhitzen. Es besteht aus zwei biconvexen Linsen, die ungefähr

3 $\frac{1}{2}$ Fuss von einander entfernt sind; die grosse Linse hat ungefähr 14 oder 15 Zoll im Durchmesser, die kleinere ungefähr 3 Zoll. Durch die zweite Linse wird der Brennpunkt sehr verkleinert und die Hitze bei hellem Sonnenschein äusserst intensiv. Der Diamant wurde in den Brennpunkt gebracht und sorgfältig beobachtet. Plötzlich bemerkte Sir H. Davy, dass der Diamant sichtlich brannte, und als er aus dem Brennpunkte entfernt wurde, fand man, dass er in einem Zustande rascher und lebhafter Verbrennung war.“

Man hatte die Verbrennung des Diamanten durch die strahlende Wärme einer irdischen Quelle noch nie versucht. Ich stellte diesen Versuch, ehe ich über den atlantischen Ocean ging, mit Erfolg an. Der kleine Diamant in meiner Hand wird von einer Platindrahtschleife gehalten. Um ihn möglichst vor Luftzug zu schützen und um auch die Wärme auf ihm zu concentriren, ist er von einem Schirm von Platinblech umgeben. Ich stelle ein Gefäss mit Sauerstoff darunter und lasse den Brennpunkt des elektrischen Strahles auf den Diamanten fallen. Eine viel kürzere Zeit, als zu dem von Faraday beschriebenen Versuch erforderlich ist, genügt, um den Diamanten zur hellen Rothgluth zu erhitzen. Wird er dann in den Sauerstoff eingetaucht, so glänzt er wie ein kleiner, weisser Stern und würde fortfahren so zu brennen und zu glänzen, bis er gänzlich verzehrt wäre. Man kann auch den Brennpunkt auf den Diamanten im Sauerstoff selbst fallen lassen, wie bei dem Florentiner Versuch: das Resultat wäre dasselbe. Ich stellte nur den Versuch in der beschriebenen Art an, um den Brennpunkt sicher auf den Diamanten fallen lassen zu können.

§. 5. Infraroth Strahlen: Calorescenz.

In den Weg des von unserer Lampe kommenden Strahles ist ein Glastrog mit Alaunlösung gestellt. Alles Licht des Strahles geht durch die Lösung hindurch. Das Licht fällt auf einen grossen, vorn versilberten Brennspegel und wird im Brennpunkte desselben vereint. Sie sehen den conischen Strahl des reflectirten Lichtes, wie er sich auf dem Staube im Saale abzeichnet. Ein Stück weisses Papier, welches in den Brennpunkt gebracht wird, leuchtet mit blendendem Glanze, aber es wird nicht einmal angesengt. Wird aber die Alaunzelle entfernt, so entzündet sich das Papier sogleich. Es muss also in dem Strahle noch etwas anderes vorhanden sein, als nur sein Licht. Das Licht wird vom weissen Papier nicht absorbirt und entzündet es daher auch nicht. Es ist aber noch etwas neben und ausser dem Lichte vorhanden, was absorbirt wird, und die Verbrennung hervorruft. Was ist dieses Etwas?

Im Jahre 1800 führte Sir William Herschel ein Thermometer durch die verschiedenen Farben des Sonnenspectrums und beobachtete die einer jeden entsprechende Temperaturerhöhung. Er beobachtete, dass die Wärmewirkung vom Violett bis zum Roth stieg. Er machte indess nicht beim Roth Halt, sondern brachte sein Thermometer auch bis in den dunklen Raum jenseits desselben. Hier fand er die Temperaturerhöhung noch bedeutender, als in irgend einem Theile des sichtbaren Spectrums. Durch diese wichtige Beobachtung bewies er, dass die Sonne Wärmestrahlen aussendet, welche auf den Gesichtssinn ganz ohne Einfluss sind. Diese

Frage wurde nachher von Seebeck, Melloni, Müller und Anderen aufgenommen, und gewann in den letzten Jahren eine unerwartete Ausdehnung und Bedeutung. Man hat eine Methode erfunden, durch welche die Strahlen der Sonne oder der elektrischen Lampe so filtrirt werden können, dass die infraroth Strahlung ganz von denselben getrennt und unvermindert erhalten bleibt, während die sichtbaren und ultravioletten Strahlen gänzlich aufgefangen werden. So ist es uns möglich, wenn wir wollen, nur mit den reinen infrarothern Wellen zu experimentiren.

Erhitzt man feste Körper zum Weissglühen, so ist die nicht sichtbare Strahlung die nothwendige Grundlage für die sichtbare. Ein Platindraht ist über dem Tische ausgespannt und ein galvanischer Strom wird hindurchgeleitet. Der Draht wird durch den Strom erwärmt, wie man mit der Hand fühlen kann; er sendet Wärmewellen, aber kein Licht aus. Wird die Stromstärke gesteigert, so wird der Draht heisser; er glüht endlich in dunkelrothem Lichte. Von diesem Ausgangspunkte aus begann Dr. Draper vor vielen Jahren eine interessante Untersuchung. Er verwendete den galvanischen Strom, um seinen Platindraht zu erhitzen und untersuchte mittelst eines Prismas die Reihenfolge der nach einander auftretenden Farben des Spectrums. Die erste Farbe war, wie hier, das Roth, dann kam Orange, dann Gelb, dann Grün und zuletzt kamen alle verschiedenen Nüancen des Blau. So wie die Temperatur des Platins allmählich stieg, wurden die Atome in schnellere Schwingungen versetzt; kürzere Wellen wurden so erzeugt, bis endlich Wellen entstanden, die das ganze Spectrum umfassten. Während eine Farbe nach der anderen auftrat, wurden die vorhergehenden Farben

intensiver. Nun hängt die Lebhaftigkeit oder Intensität des Lichtes, wie die des Schalles, nicht von der Länge der Wellen, sondern von der Weite der Schwingungen ab. Daher müssen wir schliessen, da mit dem Eintreten brechbarer Strahlen die weniger brechbaren Farben intensiver werden, dass gleichzeitig mit dem Eintritt der kürzeren Wellen eine Vermehrung der Amplitude der längeren stattfindet.

Diese Bemerkungen beziehen sich nicht nur auf die sichtbare Emission, die Dr. Draper untersucht hat, sondern auch auf die unsichtbare Emission, die dem Auftreten irgend eines Lichtes vorangeht. In der Emission aus dem weissglühenden Platindrahte vor Ihnen sind dieselben lichtlosen Wellen enthalten, wie bei der ersten schwachen Erwärmung des Drahtes, nur dass ihre Intensität auf das Tausendfache durch die zur Erzeugung des weissen Lichtes nothwendige Temperaturerhöhung gesteigert worden ist. Beide Wirkungen sind mit einander verbunden: in einem weissglühenden oder in einem geschmolzenen festen Körper können Sie die kürzeren Wellen nicht ohne diese Verstärkung der Intensität der längeren haben. Nur unter diesen Bedingungen ist eine Sonne möglich; und daher konnte Sir William Herschel die Entdeckung der unsichtbaren infrarother Sonnenstrahlung machen.

Die unsichtbare Wärme, die sowohl von dunkeln als auch von leuchtenden Körpern ausgestrahlt wird, durchdringt den Raum mit der Geschwindigkeit des Lichtes und heisst strahlende Wärme. Man kann die strahlende Wärme zu einem empfindlichen und werthvollen Reagens für die molekularen Verhältnisse machen, und sie hat in den letzten Jahren dem Vorgang bei der chemischen Verbindung eine neue Bedeutung gegeben. Nehmen Sie

z. B. die Luft, die wir athmen. Sie ist eine Mischung von Sauerstoff und Stickstoff. Sie verhält sich wie ein Vacuum zur strahlenden Wärme, da sie unfähig ist, dieselbe auf irgend eine Weise zu absorbiren. Verbinden Sie aber die beiden Gase chemisch; dann, ohne irgend eine Vermehrung der Quantität der Materie, ohne irgend eine Veränderung des Gaszustandes, ohne irgend eine Veränderung der Durchsichtigkeit des Gases, ist die chemische Verbindung von einer sehr bedeutenden Abnahme ihrer Diathermansie oder Durchlässigkeit für die strahlende Wärme begleitet.

Die Versuche, die dieses Resultat bestätigten, bewiesen auch, dass die elementaren Gase meist für strahlende Wärme sehr durchlässig sind. Dies führte wieder zum Beweise der Diathermansie der elementaren Flüssigkeiten, wie des Broms, und der Lösungen der festen Körper, Schwefel, Phosphor und Jod. Vor Ihnen ist jetzt ein Spectrum und Sie bemerken, dass der durchsichtige Schwefelkohlenstoff keinen Einfluss auf die Farben hat. Lassen wir einige Splitter von Jod in die Flüssigkeit fallen, so sehen Sie, wie die Mitte des Spectrums abgeschnitten wird. Vermehren wir die Jodmenge, so erstreckt sich die Wirkung über das ganze Spectrum und wir schneiden es zuletzt ganz ab. Das Jod, das sich gegen das Licht so feindselig erwiesen, ist für die infrarothe Strahlung, mit der wir es jetzt zu thun haben, vollkommen durchlässig. Darum soll es unser Strahlenfiltrum sein.

Stellen wir das Alaungefäß wieder vor unsere elektrische Lampe, so überzeugen wir uns wieder, wie vorher, von der vollkommenen Unfähigkeit des concentrirten Lichtes, weisses Papier zu entzünden. Setzen wir ausserdem ein Gefäß, das eine Jodlösung enthält in den Gang

der Strahlen, so wird das Licht ganz abgeschnitten; nehmen wir dann das Alaungefäss fort, so entzündet sich das weisse Papier augenblicklich im dunkeln Brennpunkt. Das schwarze Papier absorbirt die infrarothten Strahlen weit stärker als das weisse; und die Folge davon ist, dass bei ihm die Schnelligkeit und die Intensität der Verbrennung sich steigert. Zink verbrennt an derselben Stelle, Magnesium bricht in eine lebhafte Flamme aus, während ein Blatt von platinirtem Platin in dem Brennpunkt der dunklen Strahlen weissglühend wird.

Durch ein Prisma gesehen, giebt das weissglühende Platin alle Farben des Spectrums wieder. Ehe die Wellen auf das Platin fielen, traten sie zu selten auf und konnten deshalb nicht gesehen werden; durch die Platinatome werden diese langen und langsamen Wellen in kürzere verwandelt und so sichtbar gemacht. Am anderen Ende des Spectrums verminderte Stokes durch Zwischenstellung geeigneter Substanzen die Brechbarkeit, so dass er die nicht sichtbaren Strahlen sichtbar machte, und dieser Veränderung gab er den Namen Fluorescenz. Hier wird durch die Vermittelung des Platins die Brechbarkeit erhöht, so dass die nicht sichtbaren Strahlen sichtbar werden, und dieser Veränderung gab ich den Namen Calorescenz.

In dem vollkommen unsichtbaren Brennpunkte, wo diese Wirkungen erzeugt werden, kann die Luft kalt wie Eis sein. Die Luft absorbirt, wie wir schon gesagt haben, die strahlende Wärme nicht und wird daher auch nicht von ihr erwärmt. Nichts könnte überzeugender, wenn ich den Ausdruck brauchen darf, die Isolirung des Lichtäthers in der Luft bestätigen. Die Intensität der Wellenbewegung des Aethers steigert sich zu einem ausserordentlichen Grade, ohne dass auf die Luft irgend

ein Einfluss ausgeübt wird. Ich kann hinzufügen, dass das Auge mit gehöriger Vorsicht in einen Brennpunkt, wo Platin rothglühend wird, gebracht werden kann, ohne im geringsten darunter zu leiden, ja ohne nur die leiseste Empfindung von Licht oder Wärme zu spüren.

Die wichtige Rolle, die die infrarothern Strahlen in der Natur spielen, kann ich durch folgenden Versuch zeigen: Ich entferne das Jodfiltrum und concentrirte den ganzen Strahl auf ein Reagirglas voll Wasser. Das Wasser beginnt sogleich Blasen zu bilden und in ein oder zwei Minuten zu sieden. Was bringt es zum Sieden? Stellen wir die Alaunlösung vor die Lampe, so hört das Sieden sogleich auf. Der Alaun ist durchlässig für alle leuchtenden Strahlen; daher können es diese Strahlen nicht sein, die das Sieden bewirken. Ich setze jetzt die Jodzelle vor und entferne den Alaun; sogleich tritt ein heftiges Aufwallen im unsichtbaren Brennpunkte ein. Wir müssen also hier den infrarothern Strahlen die Erwärmung des Wassers zuschreiben.

So können wir die wichtige Rolle verstehen, die diese Strahlen in der Natur spielen. Ihnen verdanken wir die Erwärmung und die darauf folgende Verdunstung des tropischen Oceans; ihnen verdanken wir daher unsere Regenschauer und unseren Schnee. Sie werden dicht an der Oberfläche des Oceans absorbirt und erwärmen das Wasser an der Oberfläche, während die leuchtenden Strahlen bis in grosse Tiefen eindringen, ohne eine merkliche Wirkung hervorzubringen. Wir können noch weiter gehen. Hier diese grosse Flasche enthält eine Kältemischung, welche die Flasche so stark abgekühlt hat, dass der Wasserdampf in der Luft des Zimmers sich auf ihr niedergeschlagen hat und zu einem weissen Pelz erstarrt ist. Führen wir die Alaunzelle ein

und bringen wir den Reifniederschlag in den hell leuchtenden Brennpunkt der elektrischen Lampe, so wird auch nicht ein Kryställchen des blendenden Reifes geschmolzen. Wird die Jodzelle zwischengeschaltet und die Alaunzelle entfernt, so schmilzt sogleich eine grosse Menge des gefrorenen Ueberzuges fort. Daraus schliessen wir, dass der Schnee und das Eis, welches die Rhone, den Rhein und andere Flüsse speist, deren Quellen Gletscher sind, aus ihren Fesseln auf den Bergen durch die unsichtbaren infrarothern Strahlen erlöst werden.

§. 6. Identität des Lichtes und der strahlenden Wärme, Reflexion von ebenen und gekrümmten Oberflächen. Totale Reflexion der Wärme.

Die Entwicklung der Wissenschaft ist eine streng logische. Das was heute Ziel war, wird morgen Mittel zu weiteren Zielen. Jede neue Entdeckung in der Wissenschaft wird sogleich zur Grundlage weiterer Entdeckungen oder neuer Methoden der Forschung gemacht. So entdeckte vor 50 Jahren Oersted in Kopenhagen die Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom und etwa um dieselbe Zeit entdeckte Seebeck in Berlin die Thermoelektricität. Diese grossen Entdeckungen wurden bald nachher von Nobili und Melloni bei der Construction eines Instrumentes verwerthet, welches unsere Kenntniss der strahlenden Wärme wesentlich bereichert hat. Dieses Instrument, die sogenannte thermoelektrische Säule oder Thermosäule, besteht aus dünnen Stäben von Wismuth und Antimon, welche abwechselnd mit den Enden an einander gelöthet, aber an allen anderen Stellen von einander getrennt sind. Von den Polen dieser Thermosäule gehen

Drähte zum Galvanometer, welches aus einer Spirale von übersponnenem Kupferdraht besteht, in und über welcher zwei zu einem festen System verbundene und sorgfältig vor Luftströmungen geschützte Magnetnadeln hängen.

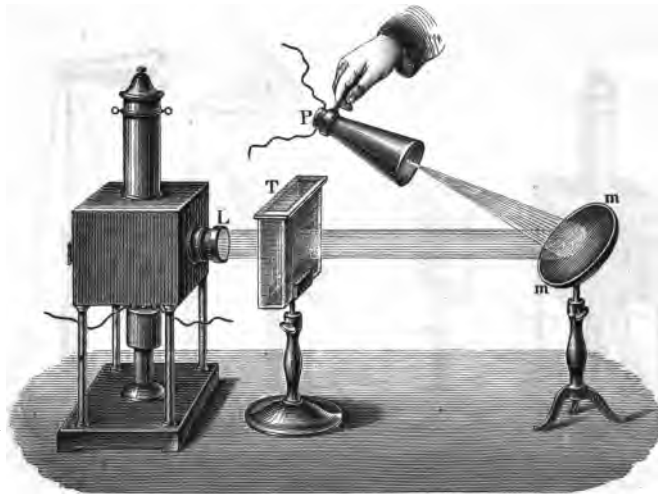
Diese Anordnung wirkt in folgender Weise: Die Wärme, welche auf die Säule fällt, ruft einen galvanischen Strom hervor; der durch die Spirale fließende Strom lenkt die Nadeln ab, und die Grösse der Ablenkung dient als Maass für die auffallende Wärme. Die über einem getheilten Kreise schwingende obere Nadel ist viel zu klein, um von Ihnen direct gesehen zu werden. Sie wird aber jetzt hell beleuchtet. Ueber ihr befindet sich eine Linse, die ein Bild der Nadel und des Kreises an der Decke entwerfen könnte, wo es indess nicht bequem gesehen werden würde. Der Lichtstrahl wird deshalb von einem unter einem geeigneten Winkel geneigten Spiegel auf einen verticalen Schirm zurückgeworfen, auf dem ein Bild entsteht. So können die Bewegungen der kleinen Nadel Ihnen Allen sichtbar gemacht werden.

Die Empfindlichkeit dieses Apparates ist so gross, dass in einem Raum, der mit einer physikalisch „warmen“ Versammlung gefüllt ist, das Arbeiten damit äusserst schwierig ist. Mein Gehülfe steht einige Schritte von demselben entfernt. Ich wende ihm die Säule zu. Die von seinem Gesicht ausgestrahlte Wärme bringt schon in dieser Entfernung eine Ablenkung von 90° hervor. Ich kehre das Instrument gegen eine entfernte Wand, die eine etwas niedrigere Temperatur hat, als der Saal. Die Nadel geht auf Null zurück, schlägt nach der anderen Seite aus und zeigt durch diese negative Ablenkung an, dass die Säule ihre Wärme durch Ausstrahlung gegen die kalte Wand verloren hat. Mit Hülfe dieses Instrumentes, des Strahlenfilters und unserer grossen Nicol'schen Prismen

können wir eine Frage vom höchsten physikalischen Interesse beantworten, die schon lange die Aufmerksamkeit einiger unserer bedeutendsten Forscher beschäftigt hat — die Identität des Lichtes und der strahlenden Wärme.

Dass dieselben in allen Beziehungen identisch sind, kann natürlich nicht der Fall sein, denn wären sie es, so müssten sie auch in ganz gleicher Weise auf alle

Fig. 49.

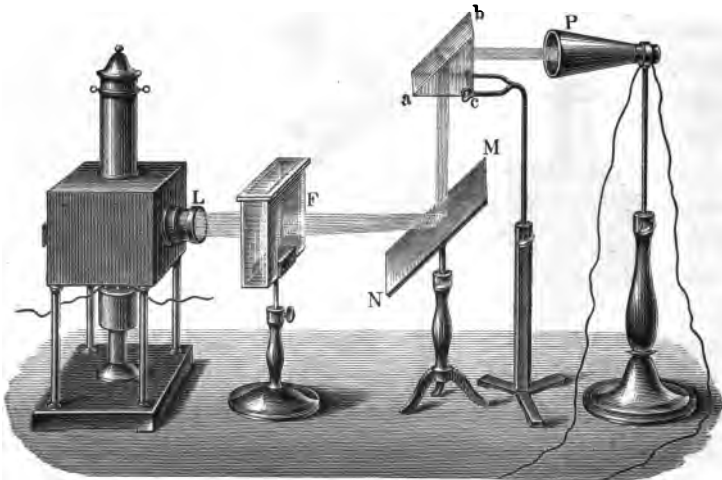


Instrumente, auch auf das Auge wirken. Die hier zwischen ihnen vorhandene Identität ist dieselbe wie diejenige, die zwischen einer Farbe und einer anderen besteht, und in Folge dessen verhalten sie sich ganz gleich bei der Reflexion, Brechung, Doppelbrechung und Polarisation. Lassen Sie uns diese Aehnlichkeiten zwischen Licht und Wärme kurz zusammenfassen.

In Betreff der Reflexion von ebenen Oberflächen können wir einen gewöhnlichen Spiegel anwenden, um das

Licht zu reflectiren. Wir bezeichnen einen Punkt in dem Wege des reflectirten Strahles, schneiden das Licht durch das aufgelöste Jod ab, und setzen die Säule an den bezeichneten Punkt; sogleich schlägt die Nadel aus und zeigt dadurch an, dass die Wärme in derselben Richtung wie das Licht reflectirt wird. Dies gilt für jede Lage des Spiegels. Nehmen wir z. B. die Versuche mit dem Apparat wieder auf, den wir in unserer ersten Vorlesung verwendet

Fig. 50.



haben (Fig. 3); bewegen wir den an dem Spiegel befestigten Zeiger über die Theilstriche des getheilten Bogens (mn) und bestimmen durch die Säule die Lagen des unsichtbar reflectirten Strahles, so finden wir seine Winkelgeschwindigkeit doppelt so gross, wie die des Spiegels.

In Betreff der Reflexion von gekrümmten Oberflächen gilt die Identität ebenfalls. Der Strahl der elektrischen Lampe L fällt auf einen Hohlspiegel mn (Fig. 49, a. v. S.), und wird dadurch zu einem Kegel

von reflectirtem Licht vereint, der seine Bahn in dem Staub des Zimmers verzeichnet. Bezeichnen wir die Spitze des Kegels mit einer Nadel, schneiden das Licht durch die Jodlösung T ab und bringen die Säule P für einen Augenblick an den bezeichneten Punkt, so wird die Nadel heftig abgelenkt.

Die gewöhnliche und die totale Reflexion eines Strahles von strahlender Wärme kann gleichzeitig nachgewiesen werden. Von der Oeffnung der Lampe L (Fig. 50) fällt ein Strahl auf den ebenen Spiegel (MN), wird daselbst nach oben reflectirt und tritt in ein rechtwinkliges Prisma, dessen Querschnitt abc ist. Er trifft auf die Hypotenuse in einem stumpferen Winkel auf, als der Grenzwinkel ist (vergl. Vorlesung I) und wird daher total reflectirt. Wird das Licht durch das Strahlenfilter F ausgelöscht und die Säule in P aufgestellt, so empfindet die Säule sogleich den total reflectirten Wärmestrahle, und letzterer wird durch die Ablenkung der Galvanometernadel angezeigt.

§. 7. Durch die strahlende Wärme gebildete unsichtbare Bilder.

Vielleicht beweist kein Experiment schlagender die Identität des Lichtes und der strahlenden Wärme, als

Fig. 51.



die Herstellung unsichtbarer Wärmebilder. Wenden wir den schon gebrauchten Spiegel an, um den Strahl möglichst zu concentriren, so erhalten wir bekanntlich ein umgekehrtes Bild der Kohlspitzen durch die im Brennpunkt vereinten Lichtstrahlen. Wird das

Licht durch das Strahlenfilter abgeschnitten, und in den Brennpunkt ein dünnes Blatt von platinirtem Platin gebracht, so zeigen die unsichtbaren Strahlen ihre Gegenwart und Vertheilung an, indem sie auf dem Platin ein weissglühendes Bild der Kohlen hervorrufen (Fig. 51, a. v. S.).

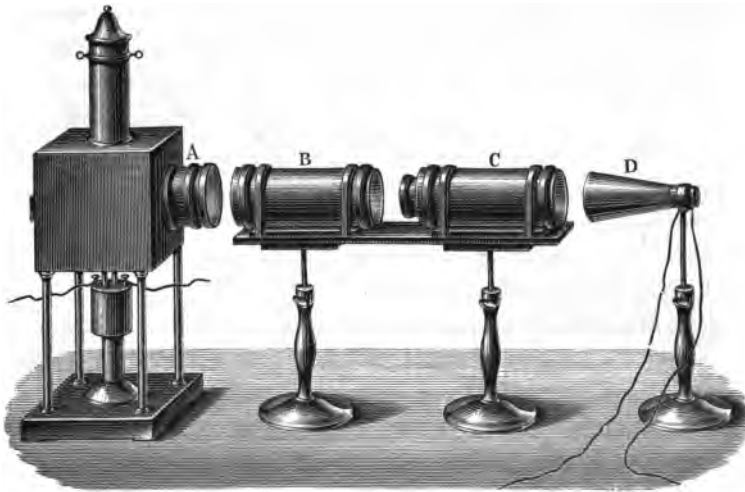
§. 8. Polarisation der Wärme.

Ob strahlende Wärme polarisirbar sei oder nicht, wurde lange in Zweifel gezogen. Bérard hatte positive Resultate erhalten, dagegen war es Powell und Lloyd nicht gelungen, dieselben zu bestätigen. Die so entstandenen Zweifel wurden durch die Versuche von Forbes beseitigt, der zuerst die Polarisation und „Depolarisation“ der Wärme sicher nachwies. Später wurde der Gegenstand von Melloni weiter verfolgt, einem höchst ausgezeichneten Forscher, der seine eigene Entdeckung, dass dunkle Strahlen von leuchtenden Quellen theilweise durch schwarzes Glas hindurchgehen, sehr geschickt verwendete. Er fing durch eine Platte von schwarzem Glase das Licht einer Oelflamme ab, experimentirte mit der hindurchgelassenen unsichtbaren Wärme und erhielt Polarisationswirkungen, die viel bedeutender waren, als diejenigen, welche mit nicht leuchtenden Quellen erhalten werden konnten. Jetzt sind wir mit Hülfe unseres vollkommeneren Strahlenfilters und unserer viel kräftigeren Wärmequelle im Stande, die Identität von Licht und strahlender Wärme bis zu der äussersten erreichbaren Grenze zu verfolgen.

Werden unsere zwei Nicols *B* und *C* (Fig. 52) gekreuzt vor der elektrischen Lampe aufgestellt, so erreicht kein Licht den Schirm. Wird unsere thermoelektrische

Säule *D* hinter die Prismen, mit ihrer Fläche der Lichtquelle zugekehrt, aufgestellt, so wird keine Ablenkung der Galvanometernadel beobachtet werden. Bringen wir zwischen die Lampe *A* und das erste Prisma *B* das Strahlenfilter, so wird das vorher durch das erste Prisma hindurchgehende Licht ausgelöscht, und jetzt öffnet die geringste Drehung eines der Nicols nach rechts oder links einen Weg für den Durchgang der Wärme; eine

Fig. 52.



sehr kleine Drehung genügt, die Nadel bis zu 90° abzulenken. Wird das Nicol in seine erste Lage zurückgedreht, so fällt der Ausschlag der Nadel wieder auf Null und weist so vollkommen klar die Polarisation der Wärme nach.

Sind die Nicols gekreuzt und ist das Feld dunkel, so kennen Sie die Wirkung einer zwischen das polarisierende und analysierende Prisma gebrachten Glimmerplatte auf das Licht. In zwei Lagen übt der Glimmer

keinen merklichen Einfluss aus, in allen übrigen thut er es. Ein genau gleiches Verhalten ist in Betreff der strahlenden Wärme beobachtet worden. Bei Zwischenschaltung unseres Strahlenfilters erhält die Thermosäule, die die Rolle eines Auges für die unsichtbare Strahlung spielt, keine Wärme, wenn das Auge kein Licht empfängt; wird aber die Glimmerplatte so gedreht, dass ihre Schwingungsebenen gegen die des polarisirenden und analysirenden Nicols geneigt sind, so geht die Wärme sogleich hindurch. So intensiv ist diese Wirkung, dass bei momentaner Zwischenschaltung eines dünnen Glimmerblättchens in den dunklen Raum zwischen den Nicols die Nadel bis auf 90° ausschlägt. Diese Erscheinung hat den Namen „Depolarisation“ erhalten. Der Versuch zeigt in der That, dass die Aetherschwingungen sowohl des Lichtes, wie der Wärme, in gleicher Weise durch die Glimmerplatte zerlegt und durch das analysirende Prisma wieder vereint werden.

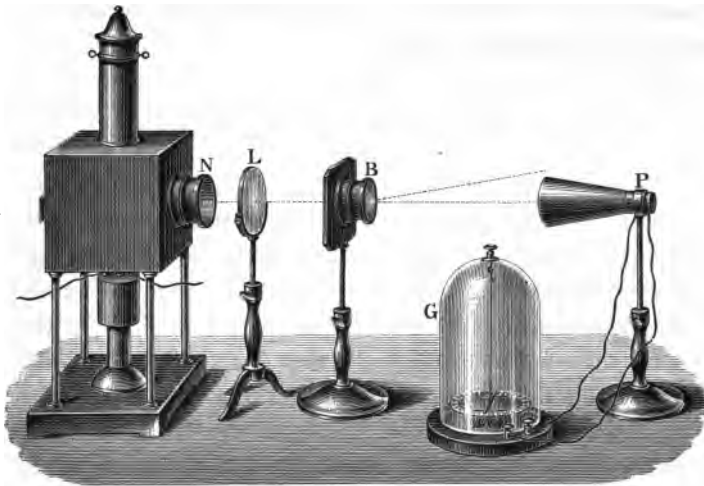
Wird das Glimmerblatt entfernt, gewartet, bis die Nadel wieder auf 0° steht, und zwischen die Nicol'schen Prismen eine senkrecht zur Axe geschnittene Bergkrystallplatte eingefügt, so zeigt sofort die Ablenkung der Nadel den Durchgang der Wärme an; und wird der hindurchgegangene Strahl genau untersucht; so zeigt sich, dass seine Polarisationssebene gedreht ist, gerade wie die eines Lichtstrahls.

§. 9. Doppelbrechung der Wärme.

Ich will jetzt die Nicols fortlassen und durch das schon zum Nachweis der Doppelbrechung des Lichtes in der dritten Vorlesung verwendete Stück Doppelspath *B* (Fig. 53) unseren durch das Strahlenfilter „abge-

siebt“ unsichtbaren Wärmestrahл senden. Um die Stellung der beiden Bilder zu bestimmen, wollen wir zuerst mit dem leuchtenden Strahl arbeiten. Wir bezeichnen die Stellen der Lichtbilder, bringen zwischen *N* und *L* unser Strahlenfilter (welches in der Figur nicht angegeben ist) und fangen das Licht ab. Nähern wir die

Fig. 53.



Säule allmählich einer der bezeichneten Stellen, so bleibt zunächst die Nadel in Ruhe, bis die Stelle erreicht ist; hier weist die Säule sofort die Wärme nach. Wird die Säule durch den Zwischenraum zwischen den beiden bezeichneten Punkten geschoben, so sinkt die Nadel erst auf Null und erhebt sich dann wieder auf 90° in der zweiten Lage. Es beweist dies die Doppelbrechung der Wärme.

Ich drehe jetzt den Doppelspath: die Nadel bleibt stehen, die Ablenkung ändert sich nicht. Führe ich

die Säule schnell zu der anderen bezeichneten Stelle, so bleibt die Ablenkung bestehen. Ich drehe noch einmal den Doppelspath, und jetzt sinkt die Nadel auf 0° , erhebt sich aber wieder nach einer Drehung von 360° auf 90° . Wir wissen, dass für das Licht der ausserordentliche Strahl um den ordentlichen rotirt; und hier haben wir mit dem extraordinären Wärmestrahle experimentirt, der sich für die Doppelbrechung gerade so wie ein Lichtstrahl verhält.

§. 10. Magnetisirung der Wärme.

Um unsere Vergleichsreihen vollständig zu machen, müssen wir die Magnetisirung der Wärme erklären. Doch bedürfen wir dazu einer kleinen Veränderung unserer Aufstellung. Als wir Faraday's Versuch über die Magnetisirung des Lichtes wiederholten, hatten wir zuerst unsere Nicols gekreuzt und das Feld verdunkelt, so dass ein Lichtblitz auf dem Schirm erschien, wenn der Magnet erregt wurde. Nun ist die Quantität des Lichtes, das in diesem Zustande durchgelassen wird, sehr gering und seine Wirkung wird nur durch den Contrast mit der vorhergehenden Dunkelheit so überraschend. Stellen wir unsere Nicols so, dass ihre Hauptschnitte einen Winkel von 45° einschliessen, so erzeugt die Erregung des Magneten eine bei weitem grössere positive Vermehrung des Lichtes, obgleich die Steigerung hier durch den Mangel des Contrastes weniger deutlich gesehen wird, da beim Beginn das Feld schon beleuchtet war.

Bei dem Versuch, den Wärmestrahle zu magnetisiren, wollen wir letztere Anordnung anwenden. Hier fällt jedoch beim Beginne eine bedeutende Wärmemenge

auf die eine Seite der Säule, die wir nothwendiger Weise neutralisiren müssen, indem wir Strahlen von einer anderen Quelle auf die andere Seite der Säule fallen lassen. Die Nadel wird so auf Null gebracht. Schneiden wir das Licht durch unser Strahlenfiltrum ab und erregen den Magneten, so wird die Nadel augenblicklich abgelenkt, ein Beweis, dass der Magnet der Wärme einen Weg eröffnet hat, gerade wie er dies in Faraday's Versuch für das Licht gethan hatte. So ist in allen von uns betrachteten Fällen die Identität des Lichtes und der strahlenden Wärme überzeugend bewiesen worden.

Durch die genauen Versuche Knoblauch's, der lange und erfolgreich auf diesem Gebiete arbeitete, wurde zuerst die Doppelbrechung der Wärme durch den Doppelspath nachgewiesen; die beobachteten Ablenkungen waren aber äusserst gering, obgleich er die leuchtende Sonnenwärme benutzte. Ferner gelang es den ausgezeichneten Forschern De la Provostaye und Desains, einen Wärmestrahл zu magnetisiren; aber obgleich sie ebenfalls die leuchtende Sonnenwärme benutzten, so betrug die beobachtete Ablenkung doch nicht mehr als zwei oder drei Grad. Mit dunkler strahlender Wärme hatte man bei früheren Versuchen diese Wirkung nicht erreicht; doch können wir mit der hier beschriebenen Anordnung ausnehmend grosse Ablenkungen mittelst der unsichtbaren Wärme hervorbringen.

§. 11. Vertheilung der Wärme im elektrischen Spectrum.

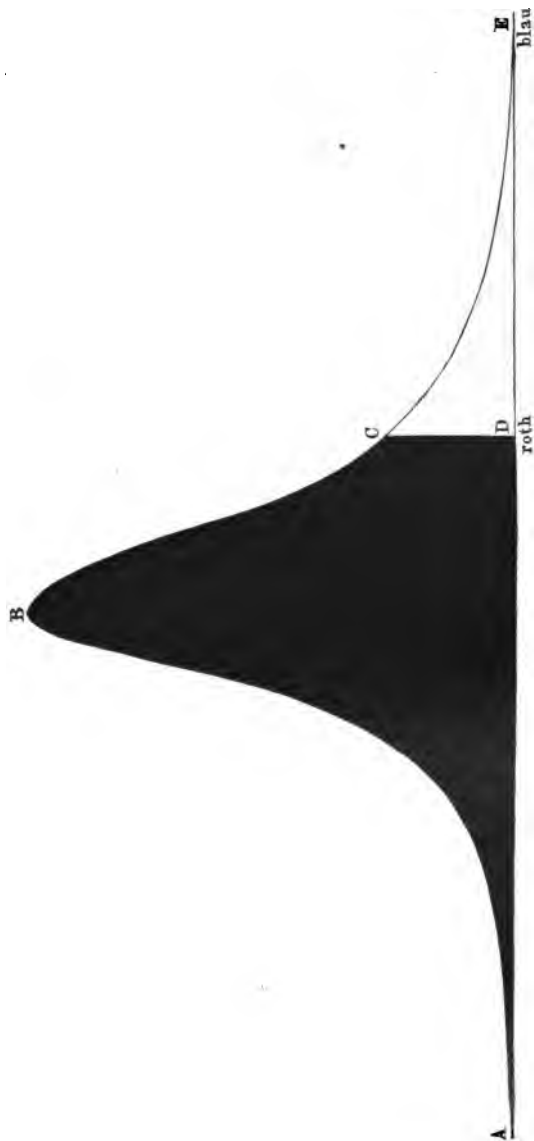
Wir haben endlich noch die Lage und die Grösse der unsichtbaren Strahlung zu bestimmen, die diese Erfolge bewirkt. Zu diesem Zweck wenden wir eine

besondere Form der Thermosäule an. Ihre Vorderfläche ist ein Rechteck, das man durch bewegliche seitliche Schirme beliebig schmal machen kann. Wir werfen ein kleines und concentrirtes Spectrum auf den Schirm, bewegen vermöge einer Schraube ohne Ende die rechteckige Säule durch das ganze Spectrum und bestimmen nach einander die Wärmewirkung all seiner Farben.

Wird dieses Instrument in das violette Ende des Spectrums gebracht, so ist die Wärme kaum bemerkbar. So wie die Säule sich allmählich vom Violett zum Roth bewegt, nimmt sie allmählich zu. Das Roth besitzt die stärkste erwärmende Kraft unter allen Farben des Spectrums. Schieben wir die Säule in den dunkeln Raum jenseits des Roth, so nimmt die Wärme plötzlich an Intensität zu und in einiger Entfernung jenseits des Roth erreicht sie ihr Maximum. Von diesem Punkte an nimmt sie schneller ab, als sie zunahm und verschwindet nachher allmählich ganz.

Ziehen wir eine horizontale Linie, um die Länge des Spectrums darzustellen, und errichten auf ihr an verschiedenen Stellen Lothe, deren Länge der Wärme an jenen Punkten proportional ist, so erhalten wir eine Curve, die die Vertheilung der Wärme im prismatischen Spectrum angiebt. Sie ist auf der nebenstehenden Figur dargestellt. Mit dem Blau beginnend, steigt die Curve zuerst sehr allmählich; gegen das Roth hin steigt sie schneller, die Linie *CD* (Fig. 54) stellt die Stärke der äussersten Strahlung dar. Jenseits des Roth erhebt sie sich zu einem steilen und massigen Gipfel *B*, von wo sie wieder sinkt, zuerst schnell und dann allmählich, bis die Wärmewirkung durch die Säule nicht mehr wahrgenommen werden kann. Diese Figur ist das

Fig. 54.



Resultat von mehr als zwölf sorgfältig angestellten Beobachtungsreihen, für deren jede die Curve construiert wurde. Als alle diese Curven über einander gelegt wurden, fand sich eine genügende Uebereinstimmung zwischen ihnen, so dass wir sicher schliessen können, dass jedes Mal die Flächeninhalte der dunkeln und weissen Räume die relativen Energien der sichtbaren und unsichtbaren Ausstrahlung darstellen. Die eine ist 7,7 Mal grösser, als die andere.

Aber in der wiederholten Bestätigung der Erfahrungen liegt, wie gesagt, die Sicherheit der wissenschaftlichen Forschung. Bestimmt man zuerst die gesammte Ausstrahlung der elektrischen Lampe, sodann mit Hülfe des Jodfilters die infraroth Ausstrahlung, so giebt die Differenz beider die leuchtende Ausstrahlung. Auf diese Weise findet man, dass die Energie der unsichtbaren Strahlung 8 Mal so gross ist, als die der sichtbaren. Es können kaum zwei Methoden verschiedener sein und ihre Resultate kaum besser mit einander übereinstimmen. Daher glaube ich, dass Sie sich auf die Richtigkeit unserer Angaben über die Vertheilung der Wärme im Spectrum des elektrischen Lichtes verlassen können.

Ebenso bestimmt und sicher, wie die Beobachtungsmethode ist, ebenso zweifellos sind die daraus abgeleiteten Schlüsse. Es werden indess auch Spectra durch Beugung erzeugt; dann ist scheinbar die Vertheilung von Licht und Wärme verschieden von der durch das Prisma erzeugten. Diese Beugungsspectra sind von Draper und Langley sehr geschickt untersucht worden. Die weniger brechbaren Strahlen im prismatischen Spectrum werden auf einen weit kleineren Raum zusammengedrückt als in dem Beugungsspectrum.

Sechste Vorlesung.

Principien der Spectralanalyse. — Analyse des Lichtes weissglühender Dämpfe durch das Prisma. — Discontinuirliche Spectra. — Die Bänder im Spectrum sind nach Bunsen und Kirchhoff für die Dämpfe charakteristisch. — Entdeckung des Rubidiums, Cäsiums und Thalliums. — Beziehungen zwischen Emission und Absorption. — Die Fraunhofer'schen Linien. — Ihre Erklärung durch Kirchhoff. — Die Chemie der Sonne. — Versuch von Foucault. — Principien der Absorption. — Analogie von Schall und Licht. — Experimenteller Nachweis dieser Analogie. — Neuere Anwendungen des Spectroskops. — Uebersicht und Schluss.

Wir haben als unsere Lichtquelle bei diesen Vorlesungen die Enden zweier Coaksstäbe angewendet, die durch die Elektricität weissglühend gemacht wurden. Coaks ist für diesen Zweck besonders geeignet, weil er eine intensive Hitze ohne Schmelzung oder Verdampfung vertragen kann. Er ist ferner schwarz, und unterstützt dadurch die Lichtentwicklung; denn, wie Professor Balfour Stewart durch Versuche bewiesen hat, wird unter sonst gleichen Bedingungen das Licht um so glänzender beim Weissglühen, je schwärzer der Körper ist. Indess, so schwer schmelzbar auch die Kohle ist, wenn wir unseren Volta'schen Bogen oder das Licht zwischen den Kohlenspitzen genau untersuchten, so

würden wir dort weissglühenden Kohlendampf finden. Und könnten wir das Licht dieses Dampfes vom glänzenden Licht der festen Kohle trennen, so würden wir sein Spectrum nicht nur weniger glänzend, sondern auch ganz verschieden von den Spectren finden, die wir bisher gesehen. Statt einer ununterbrochenen Farbenreihe vom Roth zum Violett würde der Kohlendampf nur wenige Farbenbänder mit dazwischen liegenden dunkeln Räumen geben.

Was bei der Kohle eintritt, zeigt sich in noch viel überraschenderer Weise bei den Metallen, von denen die am schwersten flüchtigen durch den elektrischen Strom geschmolzen, zum Sieden gebracht, und in Dampf verwandelt werden können. Von weissglühendem Dampf strahlt im Allgemeinen das Licht in Strahlengruppen von bestimmten Graden der Brechbarkeit aus, und zwischen den Gruppen befinden sich Räume, die von keinerlei Art von Strahlen ausgefüllt sind. Doch wird die Anschauung der Thatsachen Ihnen dies verständlicher machen, als alle Worte. In die elektrische Lampe wird jetzt ein Kohlencylinder eingesetzt, der an der Spitze ausgehöhlt ist, in die Höhlung legen wir ein Stückchen des Metalls Thallium. Dahinauf bringen wir die obere Kohlenspitze und trennen dann die eine von der anderen. Zwischen ihnen bildet sich hellglühender Thalliumdampf, dessen vergrössertes Bild Sie jetzt auf dem Schirm sehen. Es ist von schöner grüner Farbe. Was bedeutet dieses Grün? Wir beantworten diese Frage, indem wir das Licht mit dem Prisma untersuchen. Durch das Prisma geschickt, besteht sein Spectrum nur aus einem einzigen grünen Band. Licht von nur einer Brechbarkeit — das diesem besondern Grün entspricht — wird vom Thalliumdampf ausgestrahlt.

Wir wollen jetzt das Thallium fortnehmen und ein Stück Silber an seine Stelle legen. Der Lichtbogen des Silbers kann nicht von dem des Thalliums unterschieden werden; er ist nicht nur grün, sondern hat auch dieselbe grüne Schattirung. Sind sie darum einander gleich? Wir können diese Frage durch einen Versuch mit dem Prisma beantworten. So unmöglich es ist, die eine Farbe von der anderen zu unterscheiden, so unmöglich ist es, das Spectrum des weissglühenden Silberdampfes mit dem des Thalliums zu verwechseln. Beim Silber haben wir zwei grüne Streifen statt eines.

Fügen wir zu dem Silber in unserer Camera ein Stückchen Thallium hinzu, so erhalten wir das Licht der beiden Metalle, und wenn wir ein wenig warten, so sehen wir, wie die grüne Linie des Thalliums mitten zwischen den beiden grünen Linien des Silbers liegt. Daher diese Aehnlichkeit der Farbe.

Doch warum müssen wir „einen Augenblick warten“, ehe wir die Wirkung sehen? Die Thalliumlinie verdeckt am Anfang fast ganz die Silberlinien durch ihren grösseren Glanz. In der That haben die Silberlinien merkwürdig an Helligkeit verloren, seit das Stückchen Thallium hineingekommen ist, und zwar aus einem wissenswerthen Grunde. Auf dem Widerstand, den der elektrische Strom auf seinem Wege von Kohle zu Kohle trifft, beruht es, dass der Strom Wärme erzeugt. Würde der Widerstand bedeutend vermindert werden, so würde auch die Wärmeentwicklung bedeutend vermindert werden; und wenn aller Widerstand vernichtet würde, so würde auch keine Wärme erzeugt werden. Nun ist Thallium ein Metall, das weit leichter schmilzt und flüchtiger ist als Silber; und sein Dampf erleichtert den Durchgang der Elektrizität so bedeutend

dass der Strom fast nicht mehr im Stande ist, das weniger leicht schmelzbare Silber in Dampf zu verwandeln. Das Thallium wird aber allmählich aufgezehrt; die Menge seines Dampfes nimmt ab, der Widerstand nimmt zu, bis Sie zuletzt die beiden Silberbänder so glänzend wie Anfangs sehen ¹⁾).

Wir haben in diesen Linien ein vollkommen unwandelbares Kennzeichen beider Metalle. Sie erhalten nie andere als diese beiden grünen Linien beim Silber, niemals eine andere als nur die eine grüne Linie beim Thallium, stets nur die drei grünen Linien bei der Mischung der beiden Metalle. Jedes bekannte Metall hat seine eigenen besonderen Linien und in keinem bekannten Falle liefern zwei verschiedene Metalle Strahlen von gleicher Brechbarkeit. Daraus folgt, dass diese Spectra ein sicheres Hülfsmittel sind, um das Vorhandensein oder die Abwesenheit irgend eines besonderen Metalles nachzuweisen. Gehen wir von den Metallen zu ihren Legirungen über, so treten keine Veränderungen in dem Verhalten der Linien ein. Kupfer giebt grüne Linien; Zink giebt blaue und rothe Linien; Messing, eine Legirung von Kupfer und Zink, giebt die Linien beider Metalle nach Lage und Charakter vollkommen unverändert.

Wir sind aber nicht auf die Metalle selbst beschränkt; die Salze dieser Metalle geben dieselben Linien wie die Metalle. Die chemische Verbindung wird durch genügend hohe Temperatur gelöst; der Dampf des Metalles wird frei und zeigt seine charakteristische Linie. Die Chloride der Metalle sind besonders für derartige Versuche geeignet. Das gewöhnliche Kochsalz

¹⁾ Man sollte diesen Umstand bei der Untersuchung zusammengesetzter Spectra nicht ausser Acht lassen. Es könnten noch andere ähnliche Beispiele angeführt werden.

ist z. B. eine Verbindung von Chlor mit Natrium; in der elektrischen Lampe giebt es das Spectrum des Metalles Natrium. Die Chloride von Kupfer, Lithium und Strontium geben in gleicher Weise die Linien dieser Metalle.

Als daher die berühmten Begründer der Spectralanalyse, Bunsen und Kirchhoff, nach einer erschöpfenden Untersuchung der Spectra aller bekannten Substanzen ein Spectrum entdeckten, das Bänder enthielt, die nicht mit den bekannten übereinstimmten, so schlossen sie sogleich auf die Existenz eines neuen Metalles. Sie arbeiteten eine Zeit lang mit dem Rückstand, der durch Abdampfen einer deutschen Mineralquelle erhalten worden war (Nauheim). Sie wussten, dass das unbekannte Metall in diesem Wasser verborgen sei, aber es mussten erst grosse Mengen desselben abgedampft werden, ehe sie hinreichend viel von dem Rückstand erhielten, um mittelst der Methoden der gewöhnlichen Chemie das Metall zu isoliren. Es gelang ihnen aber, und das Metall wird jetzt unter den chemischen Substanzen als Rubidium aufgeführt. Sie entdeckten dann ein zweites Metall, welches sie Caesium nannten. Nachdem sie demnach zuerst die Spectralanalyse fest begründet hatten, bewiesen sie auch ihre Leistungsfähigkeit als Hilfsmittel für Entdeckungen. Crookes, der nach derselben Methode arbeitete, entdeckte bald darauf die glänzende grüne Linie des Thalliums und stellte auch die Salze des Metalles dar. Das Metall selbst wurde erst durch Lamy, einen französischen Chemiker, isolirt in grösseren Barren dargestellt.

Alles dies sind chemische Entdeckungen auf der Erde, wo das Material in unseren Händen ist. Indess wurde auch bald gezeigt, wie man die Spectralanalyse zur Untersuchung der Sonne und der Sterne anwenden

kann; und dieses Resultat wurde durch die Lösung eines Problems erreicht, das den Naturforschern lange ein Räthsel gewesen war. Wir müssen jetzt versuchen, das Wesen dieses Räthsels und seine Lösung zu verstehen. Ein Spectrum ist rein, in dem die Farben sich nicht gegenseitig decken. Wir reinigen das Spectrum, indem wir den Spalt verengen und die Zahl der Prismen vermehren. Haben wir auf diese Weise ein reines Sonnenspectrum erhalten, so finden wir, dass es von unzähligen dunkeln Linien durchzogen ist. Vier von ihnen wurden zuerst von Dr. Wollaston gesehen, ihre Zahl aber nachher von Fraunhofer mit so meisterhafter Geschicklichkeit vermehrt und ihre Lage gemessen, dass man sie nur als Fraunhofer'sche Linien kennt. Eine Erklärung dieser Linien zu geben, war, wie ich schon sagte, eine Aufgabe, die schon lange die Aufmerksamkeit der Naturforscher fesselte und Professor Kirchhoff gebührt die Ehre, sie zuerst gelöst zu haben.

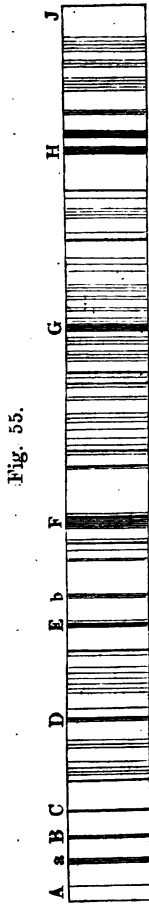


Fig. 55.

(Die Stellung der Hauptlinien, die nach Fraunhofer mit Buchstaben bezeichnet sind, ist in der angefügten Zeichnung (Fig. 55) des Sonnenspectrums wiedergegeben. *A* steht nahe dem äussersten Roth, und *J* nahe dem äussersten Violett.)

Die kurze, nur zwei Seiten lange Abhandlung, in der diese unsterbliche Entdeckung mitgetheilt wurde,

wurde der Berliner Akademie am 27. October 1859 überreicht. Fraunhofer hatte im Spectrum einer Kerzenflamme zwei glänzende Linien beobachtet, die der Lage nach vollständig mit der doppelten dunklen Linie *D* des Sonnenspectrums übereinstimmten. Diese glänzenden Linien wurden mit besonderer Intensität durch die gelbe Flamme einer Mischung von Salz und Spiritus erzeugt. In der That sind es die Linien des Natriumdampfes. Kirchhoff erzeugte ein Spectrum, indem er das Sonnenlicht durch einen Spalt und ein Prisma auf ein Fernrohr fallen liess, und stellte vor den Spalt eine gelbe Natriumflamme. So lange das Spectrum schwach blieb, erschienen immer zwei von der Flamme herrührende glänzende Linien an Stelle der beiden dunkeln Linien *D* des Spectrums.

In diesem Falle wurde die Absorption, die die Flamme auf das Sonnenlicht ausübte, durch die Ausstrahlung der Flamme mehr als ausgeglichen. Wurde indess das Sonnenspectrum genügend intensiv gemacht, so verschwanden die glänzenden Bänder gänzlich und die beiden dunkeln Fraunhofer'schen Linien erschienen mit weit grösserer Schärfe und Deutlichkeit, als wenn die Flamme nicht benutzt worden wäre.

Es ist zu bemerken, dass dieses Resultat nicht einer wirklichen Auslöschung der hellen Linien der Flamme zuzuschreiben ist, sondern der Vermehrung der Intensität des angrenzenden Spectrums. Der Versuch bewies auf das Ueberzeugendste, dass, wenn das durch die Flamme gesandte weisse Licht hinlänglich intensiv ist, die Menge, die die Flamme absorbirte, bei weitem die Menge übertraf, die sie ausstrahlte.

Dies ist ein Resultat von äusserster Wichtigkeit, Kirchhoff schloss sogleich daraus, dass die Salzflamme,

die so auffallend die dunkeln Linien Fraunhofer's verstärken könne, auch im Stande sein müsse, sie zu erzeugen. Es ist bekannt, dass das Spectrum des Drummond'schen Lichtes die beiden glänzenden Linien des Natriums zeigt, die indess allmählich verschwinden, wenn die kleine Menge Natrium, die in dem weissglühenden Kalk als Verunreinigung enthalten ist, verdampft ist. Kirchhoff entwarf ein Spectrum des Kalklichtes und stellte, nachdem die beiden glänzenden Linien verschwunden waren, seine Salzflamme vor den Spalt. Die beiden dunkeln Linien erschienen sofort. So hatte er künstlich im continuirlichen Spectrum des Kalklichtes die *D*-Linien von Fraunhofer hervorgerufen.

Kirchhoff ahnte, dass diese Wirkung nicht der Natriumflamme eigenthümlich war, und dehnte seine Untersuchungen sogleich auf alle farbigen Flammen aus, die scharf begrenzte, helle Linien in ihren Spectren zeigen. Er schloss, würde weisses Licht mit allen seinen vollzähligen Bestandtheilen, durch die Flammen gesandt, so müssten gerade die Theile absorbiert werden, deren Brechbarkeit die gleiche ist, wie die der glänzenden Linien, so dass das weisse Licht bei genügender Intensität, wenn es durch solche Flammen gegangen wäre, ein Spectrum erzeugt hätte, welches von dunkeln Linien durchzogen wäre. In dieser Weise gelang es auch Kirchhoff, eine helle Linie des Lithiums umzukehren.

Die lange vorhandenen Schwierigkeiten für eine Erklärung der Fraunhofer'schen Linien waren durch diese Thatsachen und Experimente beseitigt, die auch den chemischen Forschungen eine ungemeine Ausdehnung gaben. Kirchhoff sah, dass aus der Uebereinstimmung

der Linien, welche die Spectra der irdischen Substanzen mit den Fraunhofer'schen Linien zeigen, auf die Anwesenheit dieser Substanzen auf der Sonne und auf den Fixsternen mit Sicherheit geschlossen werden könne. So bewiesen die dunkeln Linien *D* im Sonnenspectrum die Gegenwart von Natrium in der Sonnenatmosphäre, während die glänzenden Linien, die Brewster in der Salpeterflamme fand, und die genau mit gewissen dunkeln Linien zwischen *A* und *B* im Sonnenspectrum übereinstimmten, beweisen, dass sich Kalium auf der Sonne befindet.

Jede folgende Untersuchung bestätigte die Richtigkeit dieser erst so kühn erscheinenden Schlüsse. Kirchhoff bewies in seiner zweiten Abhandlung, die er noch vor dem Jahresschluss von 1859 der Berliner Akademie mittheilte, dass die Sonne Eisen enthalte. Die glänzenden Linien des Spectrums von Eisendampf sind sehr zahlreich und Kirchhoff bewies, dass die Lage von 65 unter ihnen genau mit der von 65 der dunkeln Fraunhofer'schen Linien übereinstimmte. Ångström und Thalén wiesen die Uebereinstimmung bis von 450 Linien für das Eisen nach. Nach den Untersuchungen derselben ausgezeichneten Forscher ergeben ferner folgende Zahlen die Uebereinstimmungen bei den respectiven Metallen, zu denen sie gehören:

Calcium	75	Nickel	33
Baryum	11	Kobalt	19
Magnesium	4	Wasserstoff	4
Mangan	57	Aluminium	2
Titan	118	Zink	2
Chrom	18	Kupfer	7

Die Wahrscheinlichkeit, dass alle diese Substanzen in der Sonnenatmosphäre enthalten sind, ist überwältigend.

Kirchhoff's Entdeckungen veränderten ungemein die Anschauungen, die man bisher über die Zusammensetzung der Sonne gehabt hatte, und führten ihn zu einer Ansicht über ihre Natur, die, wenn sie auch im Einzelnen verändert werden mag, doch im Ganzen bis an das Ende aller Zeiten gültig bleiben wird. Die Sonne besteht nach Kirchhoff aus einem Kern, der von einer glühenden Atmosphäre von niedrigerer Temperatur umgeben ist. Er mag zum Theil aus Wolken bestehen, vermischt mit Dampf oder unter wirklichem Dampf liegend. Das Licht des Kernes würde uns ein continuirliches Spectrum geben, gleich dem des Drummond'schen Lichtes; da es aber durch die Photosphäre gehen muss, wie Kirchhoff's Strahl durch die Natriumflamme, so werden diejenigen Strahlen des Kernes, welche die Photosphäre selbst ausstrahlen kann, absorhirt, und dunklere Linien, die den absorhirten Strahlen entsprechen, entstehen im Spectrum. Könnten wir den Sonnenkern vernichten, so würden wir ein Spectrum erhalten, in dem an Stelle jeder dunkeln Fraunhofer'schen Linie eine glänzende Linie tritt, wie bei dem zweiten Versuch von Kirchhoff, wo wir die glänzenden Natriumlinien der Flamme erhalten, wenn das Kalklicht entfernt wurde. Die Fraunhofer'schen Linien sind also nicht absolut dunkel, sondern nur dunkel im Verhältniss zu der Differenz des aufgefangenen und des durch die Photosphäre durchgelassenen Lichtes.

Fast jede grosse Entdeckung wird gleichzeitig von verschiedenen Forschern angebahnt, und die Thatsache, dass einer derselben sie zuerst durch ein Experiment darlegte, ist nicht das Kennzeichen eines einzelnen Genies, sondern eines Genies, welches seiner Zeit voraus ist. So kam Foucault im Jahre 1849 der Entdeckung

Kirchhoff's nahe. Concentrirte er das Bild der Sonne auf einem Volta'schen Lichtbogen und lagerte so die Spectra des Bogens und der Sonne über einander, so fand er, dass die beiden hellen Linien in dem Spectrum des Lichtbogens, die der Anwesenheit einer geringen Menge von Salz in den Kohlen oder in der Luft zuzuschreiben sind, mit den dunkeln Linien *D* des Sonnenspectrums übereinstimmen. Er fand, dass die Linien *D* selbst durch den Durchgang des Sonnenlichtes durch den Volta'schen Lichtbogen bedeutend verstärkt werden.

Statt des Bildes der Sonne projecirte Foucault sodann auf den Lichtbogen das Bild einer der festen weissglühenden Kohlenspitzen, das für sich ein continuirliches Spectrum geben würde, und er fand, dass die Linien *D* in diesem Spectrum erzeugt wurden. Foucault schloss aus diesem wunderbaren Versuch, „dass der Lichtbogen ein Medium ist, welches für sich die Linien *D* aussendet und sie zu gleicher Zeit absorbiert, wenn sie von anderswo herkommen.“ Hiermit begnügte er sich. Er dehnte seine Beobachtungen nicht weiter aus, als auf den Volta'schen Lichtbogen; er gab keine Erklärung der Fraunhofer'schen Linien; er gelangte zu keiner Anschauung der Chemie der Sonne oder deren Zusammensetzung. Sein schöner Versuch blieb ein Keim ohne Frucht, bis es 10 Jahre später Kirchhoff gelang, durch die Klärung aller in dieses Gebiet einschlagender Phänomene diese grossen Probleme zu lösen.

Bald nach der Veröffentlichung der Entdeckung Kirchhoff's benutzte Professor Stokes, der sie auch schon vor 10 Jahren beinahe gemacht hätte, eine Erscheinung aus dem Gebiete des Schalls, um die Reciprocität der Strahlung und Absorption zu erklären. Eine

gespannte Saite spricht bei Luftschwingungen an, die mit ihren eigenen isochron sind. Eine grosse Zahl solcher Saiten, die im Raume ausgespannt sind, würde etwa einem Tonmedium entsprechen; und wenn der allen gemeinsame Ton in einer gemeinsamen Entfernung angeschlagen würde, so würden sie die Schwingungen aufnehmen oder absorbiren.

Wenn ein Violinbogen über diese Stimmgabel gestrichen wird, so füllt sich der Raum sogleich mit einem musikalischen Ton; man kann dies als eine Strahlung oder Aussendung von Schallwellen durch die Stimmgabel ansehen. Vor einigen Tagen, als ich diese Stimmgabel anschlug, beobachtete ich, dass, als ihre Schwingungen durch Anlegen des Fingers gedämpft wurden, der Ton, wenn auch schwächer, doch anzudauern schien. Er schien mir von einem entfernten Tisch zu kommen, auf welchem eine Anzahl Stimmgabeln von verschiedener Grösse und Schwingungszahl stand. Eine derselben, und nur eine, war durch die tönende Gabel angeregt worden, und zwar diejenige, die die gleiche Schwingungszahl hatte, wie die tönende Gabel. Dies ist ein Beispiel der Absorption des Tones einer Gabel durch die andere. Stellen wir zwei gleichgestimmte Gabeln nahe aneinander, fahren wir mit dem Bogen über eine derselben hinweg und dämpfen dann die angestrichene Gabel, so fährt die andere fort zu tönen. Sie kann die erste wieder erregen und so eine Anzahl von Malen eine Uebertragung des Schalles zwischen den beiden Gabeln bewirkt werden. Legen wir ein Geldstück auf jede der beiden Zinken der einen Gabel, so vernichten wir ihren vollkommenen Einklang mit der anderen und es ist keine Uebertragung des Tones von der einen zur anderen mehr möglich.

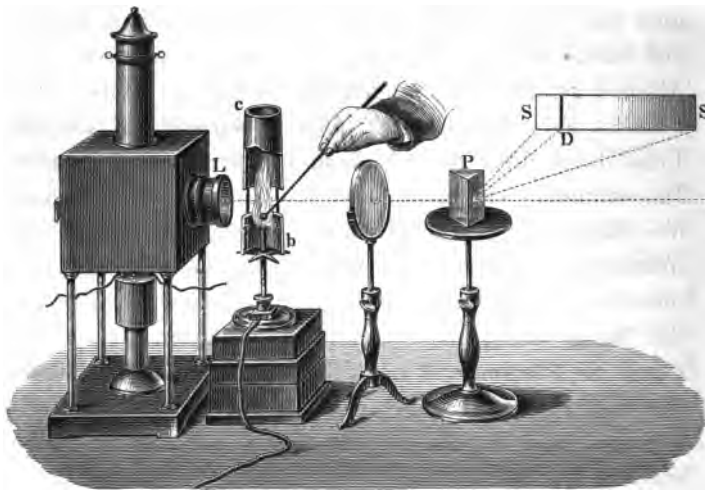
Ich möchte Ihnen gern jetzt recht anschaulich beweisen, dass wir das Licht ebenso behandeln können, wie bisher den Schall. Ich stellte schon im Jahre 1861 mehrere Tage hindurch die dahin einschlagenden Versuche an, aber nur mit geringem Erfolg. Ich erwärmte in eisernen Schalen ein Gemisch von verdünntem Alkohol und Kochsalz bis zum Sieden. Der Dampf wurde angezündet und durch die entstehende gelbe Flamme der Strahl der elektrischen Lampe gesendet; es zeigte sich aber nur eine schwache Verdunkelung des gelben Bandes auf einem Schirm. Es wurde sodann ein mit Salz und Alkohol gefüllter Trog angefertigt, der eine 10 Fuss lange Flamme gab; das Resultat blieb unbefriedigend, als das Licht durch diese dicke Flamme hindurchgesendet wurde. Da erinnerte ich mich, dass bei direkter Verbrennung des Natriums in einer Bunsen'schen Flamme ein viel intensiveres Gelb als die Kochsalzflamme entsteht und indem ich daraus schloss, dass die Helligkeit der Flamme der Menge des glühenden Dampfes entsprach, liess ich durch die Flamme von metallischem Natrium den Strahl der elektrischen Lampe gehen. Der Erfolg war vollkommen, und ich möchte jetzt diesen Versuch vor Ihnen wiederholen.¹⁾

Sie sehen demnach zunächst, dass wenn ein Stück Natrium auf einem Platinlöffel in die Bunsen'sche Flamme gebracht wird, ein helles gelbes Licht entsteht, dessen Brechbarkeit mit dem des gelben Bandes im Spectrum übereinstimmt. Wie unsere Stimmgabel, sendet

¹⁾ Bei derselben Gelegenheit wurde das dunkle Band beim Einbringen von Natrium in die Lampe beobachtet. Dann wurde auch zum ersten Male das glänzende blaue Band des Lithium gesehen, welches durch die Bunsen'sche Flamme nicht entsteht.

es Wellen von einer bestimmten Periode aus. Lassen wir das weisse Licht der elektrischen Lampe durch die Flamme gehen, so haben Sie den sichtbaren Beweis, dass die gelbe Flamme das Gelb des Spectrums auf- fängt; dass sie mit anderen Worten Wellen von derselben Periode, wie ihre eigenen, absorbiert und so nach aller Voraussicht eine dunkle Fraunhofer'sche Linie statt der hellen gelben erzeugt.

Fig. 56.



Vor den Spalt bei *L* (Fig. 56), durch den der Strahl geht, ist ein Bunsen'scher Brenner (*b*) gestellt worden, den ein Schornstein (*c*) bedeckt. Der Strahl fällt, nachdem er durch eine Linse gegangen, durch ein Prisma *P* (bei dem eigentlichen Versuche benutzte man zwei), wird hier zerlegt und wirft ein helles, continuirliches Spectrum (*SS*) auf den Schirm. Führen wir einen Platinlöffel mit einem Stückchen Natrium in die Bunsen'sche Flamme ein, so schmilzt das Metall

zuerst, färbt die Flamme intensiv gelb und verbrennt zuletzt lebhaft. In demselben Augenblicke wird das Spectrum von einem tief dunklen Bande (*D*), das zwei Zoll breit und zwei Fuss lang ist, durchzogen. Wird die Natriumflamme in rascher Aufeinanderfolge eingeführt und wieder herausgezogen, so zeigt sich das plötzliche Erscheinen und Verschwinden des dunkeln Bandes in überraschender Weise. Im Contrast zu dem angrenzenden Lichtglanz erscheint das Band absolut schwarz; so mächtig ist die Absorption. Die Schwärze ist jedoch nur relativ, denn es fällt noch ein Theil des Lichtes der Natriumflamme auf den dunkeln Raum.

Ich habe schon den Versuch von Foucault angeführt; doch haben noch andere Forscher in diesem Gebiete gearbeitet, ehe Bunsen und Kirchhoff die Lösung der Frage suchten. Abgesehen von wenigen Abänderungen habe ich schon bei einer früheren Gelegenheit von den Vorläufern der Entdeckung der Spectralanalyse und Sonnenchemie wie folgt gesprochen: „Herr Talbot hatte die glänzenden Linien in den Spectren der farbigen Flamme beobachtet, und sowohl er als auch Sir John Herschel wiesen auf die Möglichkeit hin, die prismatische Analyse zu einem chemischen Reagens von ausserordentlicher Empfindlichkeit, aber, wie es schien, nicht von vollständiger Zuverlässigkeit zu machen. Mehr als ein Viertel Jahrhundert früher gab Dr. Miller Zeichnungen und Beschreibungen der Spectra von verschiedenen farbigen Flammen. Wheatstone analysirte mit seinem gewohnten Scharfsinn das Licht des elektrischen Funkens und bewies, dass die Metalle, zwischen denen der Funke hinüberspringt, die glänzenden Linien im Spectrum des Funkens

bestimmten. In einer Untersuchung, die Kirchhoff als „classisch“ bezeichnet, hat Swan gezeigt, dass $\frac{1}{2500000}$ eines Gramms Natrium in einer Bunsen'schen Flamme durch sein Spectrum aufgefunden werden könnte. Er zeigte auch die Constanz der hellen Linien im Spectrum der Kohlenwasserstoffflammen. Masson veröffentlichte eine Preisschrift über die Linien des Inductionsfunken; während van der Willigen und noch später Plücker uns schöne Zeichnungen der Spectra von derselben Lichtquelle gegeben haben.“

„Indess keiner dieser ausgezeichneten Gelehrten hatte auch nur die geringste Kenntniss von der Beziehung zwischen den hellen Linien des Metalles und den dunkeln Linien des Sonnenspectrums, noch konnte man sagen, dass die Spectralanalyse je vor den Versuchen von Bunsen und Kirchhoff auf irgend festem Boden stand. Der Forscher, der in einer veröffentlichten Abhandlung der Lösung der Frage am nächsten kam, war Ångström. In seiner von mir selbst übersetzten und im Jahre 1855 in dem „Philosophical Magazine“ veröffentlichten Abhandlung giebt er an, dass die Strahlen, die ein Körper absorbirt, genau dieselben sind, die er ausstrahlen kann, wenn er leuchtend wird. An einer anderen Stelle spricht er davon, dass eines seiner Spectra den Eindruck einer Umkehrung des Sonnenspectrums gemacht habe. Seine Abhandlung trägt, so wissenschaftlich sie auch ist, doch das Gepräge der Unsicherheit ihrer Zeit. Foucault, Thomson und Balfour Stewart waren alle nahe der Entdeckung, während, wie wir schon sagten, Stokes sie durch seine scharfe, aber nicht veröffentlichte Schlussfolgerung beinahe gemacht hätte.“

Geistig sowohl, wie physisch ist jedes Jahr der Welt der Sprössling und das Kind des vorgehenden Jahres. Die Wissenschaft beweist, dass sie das echte Product der Natur ist, wenn sie nach diesem Gesetze wächst. Wir haben hier keine Unterbrechung der Continuität. Alle grossen Entdeckungen werden auf zweierlei Art vorbereitet: erstlich durch andere Entdeckungen, die ihre Vorläufer bilden, und zweitens durch die Schärfung des forschenden Geistes. So wuchs Ptolemäus aus Hipparch, Copernicus aus beiden hervor, Kepler aus allen Dreien und Newton aus allen Vieren. Newton erhob sich nicht plötzlich von der „Meeresoberfläche des Geistes“ bis zu seiner staunenswerthen Höhe. Zur Zeit, da er erschien, war die geistige Hochebene schon gehoben. Er steigt zwar über das Hochland als ein riesiger Fels auf; doch wird er von ihm getragen, und ein grosser Theil seiner absoluten Höhe ist die Höhe der Menschheit seiner Zeit. So ist es auch mit Kirchhoff's Entdeckungen. Vieles war schon vorher vollendet; dies beherrschte er und ging dann vermöge seines individuellen Genies darüber hinaus. Er ersetzte Ungewissheit durch Gewissheit, Unbestimmtes durch Bestimmtes, Verwirrung durch Ordnung; und ich glaube nicht, dass Newton ein sichereres Anrecht auf die Entdeckungen hat, die seinen Namen unsterblich gemacht haben, als Kirchhoff an dem Verdienst hat, das fragmentarische Wissen seiner Zeit in sich aufgenommen, es weiter ausgedehnt und ihm das Lebensprincip grosser Gesetze eingeflösst zu haben.

Mit einem letzten Zusatz wollen wir unsere Erläuterung der Gesetze der Sonnenchemie beschliessen. Die Sonne erscheint nicht scharf begrenzt, sondern

sie ist von einem leuchtenden Schein umgeben, Dank der Zerstreuung des Lichtes durch die Materie, die mechanisch in der Erdatmosphäre schwimmt. Wie ein lautes Geräusch ein Flüstern übertönt und ein intensives Licht ein schwaches verdunkelt, so hindert uns dieser Glanz rings um die Sonne, viele wunderbare Erscheinungen am Rande der Sonne zu sehen. Der Glanz wird in totale Finsterniss verwandelt, wenn der Mond zwischen die Sonne und die Erde tritt, und dann sieht man eine Reihe von rosagefärbten Protuberanzen, die sich oft zehn Tausende von Meilen jenseits des dunkeln Randes des Mondes erstrecken. Vassenius hat sie in den „Philosophical Transactions“ von 1733 beschrieben; doch wurden sie wahrscheinlich schon früher beobachtet. Sie erregten im Jahre 1842 grosses Aufsehen und wurden damals mit den Schneespitzen der Alpen, wenn sie in der Abendsonne glühen, verglichen. Dass diese Vorsprünge brennendes Gas und besonders Wasserstoffgas seien, bewies Herr Janssen während einer Sonnenfinsterniss, die am 18. August 1868 in Indien beobachtet wurde.

Doch können die Protuberanzen auch im vollen Sonnenschein sichtbar gemacht werden, und zwar aus einer leichtverständlichen Ursache. Sie haben in unseren Vorlesungen gesehen, dass wir ein einziges Prisma benutzten, um ein Spectrum hervorzurufen, aber auch, dass einmal zwei derselben angewendet wurden. Im letzteren Falle, wo das dispergirte weisse Licht über die doppelte Fläche vertheilt wird, waren alle seine Farben entsprechend verdünnt. Sie haben auch ein und ein Paar Prismen dazu verwenden sehen, um Linien von weissglühenden Dämpfen hervorzurufen; aber hier, wo das Licht jedes Bandes absolut einfarbig war, war es einer

weiteren Dispersion durch das zweite Prisma unzugänglich und konnte daher nicht durch eine solche Dispersion geschwächt werden.

Wenden Sie die Resultate dieser Beobachtungen auf die Region an, die die Sonne umgiebt. Der Glanz des weissen Lichtes um die Sonne kann unbegrenzt zerstreut und geschwächt werden, wenn man die Zahl der Prismen vermehrt, während einfarbiges Licht, welchem der Glanz des weissen Lichtes beigemischt und durch ihn verdeckt wird, ungeschwächt durch die Dispersion seine Intensität bewahrt. Auf diese Beobachtung hat man eine Untersuchungsmethode begründet, die unabhängig von einander Janssen in Indien und Lockyer in England anwendeten, bei der die einfarbigen Bänder der Protuberanzen die Oberhand gewinnen und bei hellem Tageslicht sichtbar werden. Dadurch, dass Lockyer den Sonnenrand rings herum sorgfältig und gewissenhaft untersuchte, konnte er beweisen, dass die Protuberanzen nur lokale Auswüchse aus einer feurigen Umhüllung sind, die die Sonne gänzlich umschliesst und die er Chromosphäre nannte.

Es würde uns weit über das Gebiet dieser Vorlesungen hinaus führen, wollten wir noch die vielen interessanten und wichtigen Resultate besprechen, die Secchi, Respighi, Young und andere ausgezeichnete Gelehrte erzielt haben, die sich mit der Chemie der Sonne u. s. f. beschäftigt haben. Auch kann ich jetzt nur flüchtig der ausgezeichneten Arbeiten von Dr. Huggins über die Fixsterne, Nebelflecken und Kometen gedenken. Sie begründen mehr als alle anderen Forschungen die Wahrheit der Behauptung, dass die Entdeckung der Spectralanalyse und die Erklärung der Fraunhofer'schen Linien die chemischen Forschungen

ins Unbegrenzte erweiterte. Die höchst beachtenswerthen Versuche von Professor Dewar mehren täglich unser Wissen, während die genauen Untersuchungen von Capt. Abney und anderer Gelehrter neue Forschungsgebiete eröffnen.

Indess ist es hier meine Absicht, Gesetze klar darzulegen, und nicht ihnen in die Einzelheiten ihrer Begründung zu folgen.

Uebersicht und Schluss.

Es war mein Wunsch, Ihnen in diesen Vorlesungen so zusammenhängend wie möglich Einiges aus der früheren Entwicklung und aus dem gegenwärtigen Standpunkt eines Gebietes der Wissenschaft vorzuführen, in dem mehrere der bedeutendsten Forscher gearbeitet haben, die die Welt je gesehen. Ich habe versucht, jedem Versuch eine klare und verständliche Auslegung zu geben, denn Versuche sollen die Repräsentanten und Erklärer des Gedankens sein — eine Sprache, die sich an das Auge wendet, wie die Worte an das Ohr. Im Zusammenhang mit der wissenschaftlichen Deduction wirkt nichts eindringlicher und belehrender als ein passender Versuch; von seinem Zusammenhang getrennt, dient er mehr dem Zweck des Zauberers, zu überraschen, als dem Zweck der Bildung, der der leitende Beweggrund der Wissenschaft sein sollte.

Eine kurze Uebersicht unserer Arbeit wird zum Schluss wohl hier am Orte sein. Unsere jetzige Kenntniss der Gesetze und Erscheinungen des Lichtes müssen wir dem Wissensdrang des Menschen zuschreiben. Wir haben gesehen, mit welchem Eifer sich die Alten mit

diesem Problem beschäftigten, aber sie thaten es wie Kinder, die ihre Arme nutzlos abmühen, weil sie noch nicht ihre Muskeln geübt haben; und so konnten diese ersten Forscher auch nur unklar und unbestimmt über das Licht speculiren, da sie noch nicht die nöthige Schulung hatten, um ihren Anschauungen Klarheit, ihrer Erkenntniss der Gesetze Sicherheit zu geben. Sie überzeugten sich von der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes und von dem Gesetze, dass der Einfallswinkel dem Reflexionswinkel gleich ist. Länger als tausend Jahre — ich kann wohl sagen, länger als fünfzehnhundert Jahre — schien dann der wissenschaftliche Forschungstrieb gelähmt zu sein, da in der That die geistige Kraft, die sich der Wissenschaft hätte widmen können, in andere Richtungen gelenkt worden war.

Im Jahre 1100 nahm ein arabischer Forscher, Alhazen, die Untersuchungen über das Licht wieder auf. Dann beschäftigten sich nach einander Roger Bacon, Vitellio und Kepler mit demselben. Obgleich es diesen Männern nicht gelang, das Gesetz zu finden, das die Thatfachen beherrschte, so erhielten sie doch das Feuer der Forschung lebendig. Dann kam die fundamentale Entdeckung Snell's, dieser Eckstein der Optik, wie ich sie schon genannt habe, und gleich darauf erhielten wir durch Descartes die Anwendung der Snell'schen Entdeckung auf die Erklärung des Regenbogens. Kurz nachher stürzt Römer die Ansicht Descartes', dass sich das Licht momentan durch den Raum fortpflanzt. Die Versuche Newton's krönen diese Reihe von Untersuchungen über die Analyse und Synthese des weissen Lichtes, durch die bewiesen wurde, dass dasselbe aus verschiedenen Arten von Licht von verschiedenen Brechbarkeitsgraden zusammengesetzt sei.

Bis zu dieser seiner Erklärung der Zusammensetzung des weissen Lichtes war Newton bei seinen Forschungen überall siegreich gewesen, siegreich im Himmel, siegreich auf Erden, und seine folgenden experimentellen Arbeiten sind zum grössten Theile von unsterblichem Werth. Unfehlbarkeit ist aber nicht dem irrenden Menschen gegeben, und als Mensch erwies sich Newton bald nach seiner Entdeckung der Beschaffenheit des weissen Lichtes. Er nahm an, dass Brechung und Dispersion Hand in Hand gingen und dass man nicht die eine aufheben könnte, ohne zugleich auch die andere zu zerstören. Hier corrigirte ihn Dollond.

Aber Newton beging einen noch grösseren Irrthum. Die Wissenschaft gehört, wie ich Ihnen schon in unserer zweiten Vorlesung klar zu machen suchte, nur zum Theil der Sinnenwelt an. Die Wurzeln der Erscheinungen liegen in einer Region jenseits der Grenzen der Sinne, und nichts Geringeres als die Wurzel der Dinge kann den wissenschaftlichen Geist befriedigen. So finden wir es natürlich, dass auch auf dem Wege der optischen Erscheinungen die grössten Geister immer danach streben, die Grenzen der Sinne zu durchbrechen und die Erscheinungen bis zu ihren übersinnlichen Quellen zu verfolgen. So angeregt, betraten sie das Reich der Theorie, und hier wurde Newton, obgleich er von Zeit zu Zeit zur Wahrheit gedrängt wurde, doch noch mächtiger zum Irrthum hingezogen, dem er sich denn auch ganz überliess. Seine Versuche sind unvergänglich, aber seine Theorie ist untergegangen. Ein Jahrhundert hindurch setzte sie sich wie ein Damm der weiteren Forschung entgegen; aber, gleich allen Hindernissen, die nur auf der Autorität und nicht auf der Wahrheit beruhen, nahm der Druck allmählich zu und riss den Damm endlich mit fort.

Malus entdeckte im Jahre 1808 die Polarisation des Lichtes durch Reflexion, als er durch einen Doppelspath nach der Sonne sah, die vom Fenster des Luxemburg-Palastes in Paris reflectirt wurde. Wie schon gesagt, erfolgte diese Entdeckung in der dunkelsten Stunde des Schicksals der Wellentheorie. Aber die Dunkelheit sollte nicht andauern. Arago entdeckte im Jahre 1811 die glänzenden Farbenerscheinungen, die wir in Gypsplatten in polarisirtem Licht dargestellt haben; er entdeckte auch die Rotation der Polarisationsebene in den Quarzkrystallen. Seebeck entdeckte im Jahre 1813 die Polarisation des Lichtes durch den Turmalin. Im selben Jahre entdeckte Brewster die schönen Farberinge, die die Axen der zweiaxigen Krystalle umgeben. Wollaston entdeckte im Jahre 1814 die Ringe des Doppelspathes. Alle diese Entdeckungen, die ohne den theoretischen Schlüssel den menschlichen Geist in einem Gewirr von Erscheinungen ohne Harmonie oder Zusammenhang lassen würden, wurden durch die Undulationstheorie organisch zusammengefasst.

Die Wellentheorie wurde nach allen Richtungen geprüft und als richtig befunden, und besonders zeichnete sich Airy durch die Strenge und Endgültigkeit seiner Beweise aus. Eine besonders bedeutende Bestätigung verdanken wir dem verstorbenen Sir William Hamilton aus Dublin, der die Theorie da aufnahm, wo sie Fresnel gelassen hatte, und zu dem Schlusse kam, dass an vier besondern Punkten der Wellen-Oberfläche in doppelt brechenden Krystallen der Strahl sich nicht nur in zwei, sondern in eine unendliche Anzahl von Strahlen theilt, die an diesen Punkten eine continuirliche kegelförmige Hülle statt zweier Bilder darstellen. Kein menschliches Auge hatte je diese Hülle gesehen, als Sir

William Hamilton theoretisch auf ihr Dasein schloss. Er bat Dr. Lloyd, durch Versuche die Wahrheit seines theoretischen Schlusses zu prüfen. Lloyd nahm einen Arragonitkrystall und folgte auf das Gewissenhafteste den Angaben der Theorie, er zerschnitt den Krystall da, wo die Theorie es verlangte, beobachtete ihn da, wo die Theorie ihn beobachtet haben wollte, und entdeckte die leuchtende Hülle, die bis dahin nur als Gedanke im Geist des Mathematikers bestanden hatte.

Nichtsdestoweniger musste die wichtige Undulationstheorie erst wie manche andere Wahrheit, die sich allmählich als ein Segen für die Menschheit herausstellte, durch heftige Kämpfe ihr Recht auf das Dasein erlangen. Grosse Namen hatten sich zum Kampf gegen sie erhoben. Sie war von Hooke anerkannt worden, Huygens hatte sie angewendet und erklärt, Euler hatte sie vertheidigt. Sie machten aber keinen Eindruck. Und in der That fehlte der Theorie in ihren Händen die Kraft der Beweisführung. Sie nahm zuerst in den Händen von Thomas Young die Form einer bewiesenen Wahrheit an. Er liess die Lichtwellen auf einander wirken, so dass sie sich nach seinem Willen addirten und auslöschen mussten. Aus ihrer gegenseitigen Wirkung bestimmte er ihre Längen und benutzte seine Bestimmungen nach allen Richtungen hin. Er zeigte, dass auch die noch bestehende Schwierigkeit der Polarisation sich in die Theorie einfügte.

Nach ihm kam Fresnel, dessen transcendente mathematische Begabung ihn befähigte, der Theorie eine Verallgemeinerung zu geben, die Young unerreichbar geblieben war. Er erfasste die Theorie als Ganzes; er folgte dem Aether ins Herz der complicirtest gebauten

Krystalle und in Körper, die der Dehnung und dem Druck unterworfen waren. Er zeigte, dass die von Malus, Arago, Brewster und Biot entdeckten That- sachen so zu sagen eben so viele Nervencentra des theoretischen Organismus des Aethers seien, die aus ihm Bestand und Erklärung entnähmen. Sein Geist war viel zu gewaltig für den Körper, mit dem er verbunden war; und so wurde dieser Körper ein Wrack, lange vor dem normalen Alter. Fresnel starb und hinterliess einen in den Annalen der Wissenschaft unsterblichen Namen.

Ich möchte in Betreff Fresnel's noch ein Wort sagen. Es giebt Dinge, die noch mehr werth sind, als die Wissenschaft. Höher als der Verstand steht der Charakter; für diejenigen, die von der menschlichen Natur gern gross denken, ist es besonders erfreulich, wenn hervorragender Verstand mit einem edlen Charakter verbunden ist. Sie waren in diesem jungen Franzosen vereint. In den heissen Kämpfen um die Undulations- theorie stand er als ein unbescholtener Mann da, der nichts mehr verlangte, als sein Recht, und gern bereit war, auch Anderen ihr Recht zu gewähren. Er verstand und erkannte sogleich die Verdienste von Thomas Young an. Er und sein Landsmann Arago waren es auch, die in England die Erkenntniss der Ungerechtigkeit, die man Thomas Young in der Edinburgh Review gethan hatte, wach riefen.

Ich möchte Ihnen einen kurzen Absatz aus einem Brief vorlesen, den Fresnel im Jahre 1824 an Young geschrieben hat; er wirft ein schönes Licht auf den Charakter des französischen Naturforschers: „Schon seit langer Zeit,“ sagt Fresnel, „ist diese Empfindsamkeit oder diese Eitelkeit, die das Volk Liebe zum Ruhm nennt, in mir abgestumpft worden. Ich arbeite weit

weniger, um die Lobeserhebungen des Publicums zu gewinnen, als um den inneren Beifall zu finden, der mir immer der süsseste Lohn für alle meine Anstrengungen war. Sicher habe ich oft in Augenblicken des Missmuthes und der Entmuthigung den Sporn der Eitelkeit gebraucht, um mich von Neuem zu meinen Untersuchungen anzufeuern. Aber alle Lobeserhebungen, die ich von Arago, La Place und Biot erhielt, haben mir nie so viel Freude gemacht, als die Entdeckung einer theoretischen Wahrheit oder die Bestätigung irgend einer Berechnung durch den Versuch.“

Darin liegt das innerste Wesen der Wissenschaft. Sie muss um ihrer selbst willen gepflegt werden, um der reinen Liebe zur Wahrheit, weit mehr als um des Beifalls oder des Verdienstes willen, den sie mit sich bringt. Meine Thätigkeit in Amerika ist nun fast vollendet. Doch möchte ich Ihre Geduld noch für wenige Bemerkungen über die Männer in Anspruch nehmen, die uns die grosse Fülle des Wissens vermacht haben, von der ich Ihnen in diesen Vorlesungen einen schwachen Begriff geben wollte. Was war der Beweggrund, der sie anspornte? Was trieb sie zu jenen Kämpfen und Siegen über die widerstrebende Natur, die das Erbe der Menschheit geworden sind? Man darf nie vergessen, dass nicht einer dieser grossen Forscher von Aristoteles bis auf Stokes und Kirchhoff irgend ein praktisches Ziel in der gewöhnlichen Bedeutung des Wortes vor Augen hatte. Keiner betrachtete den Geldeswerth als das Ziel seines Strebens und das Wissen als ein Mittel dazu. Zum grössten Theil kehrten sie edel denkend den Process um, setzten das Wissen als Ziel und benutzten das Geld, das sie besaßen, als Mittel, um es zu erreichen.

Wir können heut zu Tage die Resultate ihrer Arbeit in tausend praktischen Formen erkennen, und es möchte dies als genügend erscheinen, um ihr Streben nicht nur zu rechtfertigen, sondern noch zu veredeln. Sie arbeiteten aber nicht um solcher Resultate willen; ihr Lohn war von anderer Art. Wie aber von anderer Art? Wir lieben Kleider, wir lieben den Luxus, wir lieben schöne Wagen, wir lieben Geld, und jeder Mensch, der darauf als die Resultate seiner Arbeit im Leben hinweisen kann, rechtfertigt diese Resultate vor aller Welt. Er ist besonders in England und Amerika ein „praktischer“ Mensch. Doch möchte ich mich vertrauensvoll an diese Versammlung mit der Frage wenden, ob diese Dinge die Forderungen der menschlichen Natur vollkommen befriedigen? Schon die einfache Gegenwart dieser Versammlung hier, die einen so bedeutenden Theil des geistigen Lebens und der Bildung dieser grossen Stadt repräsentirt, an sechs unfreundlichen Abenden, ist eine Antwort auf meine Frage¹⁾. Ich brauche einer solchen Versammlung nicht erst zu sagen, dass es sowohl leibliche Genüsse, als auch geistige Genüsse giebt, und dass die Freuden des Geistes den Lohn unserer grossen Forscher ausmachten. Von dem Flüstern der Naturwahrheit weiter getrieben, verfolgten sie oft durch Schmerz und Selbstverläugnung ihre Arbeit. Selbst im Tode noch von dieser Leidenschaft beherrscht, dictirten viele von ihnen, wenn sie die Feder nicht mehr halten konnten, ihren Freunden die letzten Resultate ihrer Arbeit und legten sich dann für immer zur Ruhe.

¹⁾ Man hatte in New York seit länger als zehn Jahren ein solches Wetter nicht erlebt. Der Schnee lag so tief, dass die gewöhnlichen Beförderungsmittel eine Zeit lang versagten.

Hätten wir diese Männer an der Arbeit sehen können, ohne irgend eine Kenntniss der Erfolge ihrer Arbeit, was würden wir von ihnen gedacht haben? Den Uneingeweihten ihrer Zeit mögen sie oft wie grosse Kinder vorgekommen sein, die mit Seifenblasen und anderen Kleinigkeiten spielten. So ist es noch bis auf den heutigen Tag. Könnten Sie den wahren Forscher — Ihren Henry oder Ihren Draper — in seinem Laboratorium heimlich belauschen, Sie würden, wenn Sie nicht von seinem Geist durchdrungen wären, kaum verstehen, was ihn dort fesselt. Viele der Gegenstände, die seine Aufmerksamkeit in Anspruch nehmen, würden Ihnen ganz kleinlich erscheinen, und würden Sie ihn fragen, welches der Nutzen seiner Arbeit sei, so würden Sie ihn wahrscheinlich sehr in Verlegenheit bringen. Er würde kaum im Stande sein, Ihnen den Nutzen in verständlichen Worten auszudrücken. Er könnte Ihnen keine Sicherheit bieten, dass diese Arbeit auch nur einen Dollar in irgend eines lebenden oder kommenden Menschen Tasche bringen könnte. Dass aber die wissenschaftlichen Entdeckungen möglicher Weise nicht nur Dollars den einzelnen Menschen verschaffen, sondern Millionen den Schatzkammern der Nationen, das hat die Geschichte der Wissenschaft des Oefteren bewiesen; die Hoffnung auf diesen Erfolg kann aber nie die treibende Kraft des Forschers gewesen sein oder in Zukunft sein.

Ich weiss, dass ich grosse Gefahr laufe, wenn ich so vor Männern der Praxis rede. Ich weiss, was De Tocqueville über Sie sagt. „Der Mann des Nordens“, sagte er, „hat nicht nur die Erfahrung, sondern auch das Wissen. Er kümmert sich indess nicht um die Wissenschaft als Genuss, sondern erfasst sie nur mit Eifer, wenn sie zu nützlichen Erfolgen führt.“ Und

doch möchte ich fragen, welches sind die nützlichen Erfolge, auf die Sie hoffen, wenn Sie diesen Ort so oft trotz Schneefalls und bitterer Kälte aufgesucht haben? Welches, möchte ich fragen, ist der Ursprung der freundlichen Aufforderungen, die mich von meiner Arbeit in London fortzogen, um hier vor Ihnen zu reden, und die, wenn ich es zugäbe, mich als Millionär heim-schicken würden? Ich bin heute nicht hier, weil ich Sie gelehrt habe, einen einzigen Cent durch die Wissen-schaft zu verdienen, sondern weil ich nach meinen besten Kräften gestrebt habe, der Welt die Wissenschaft als ein geistiges Gut zu zeigen. Nie sind gewiss zwei Ausdrücke so verkehrt und in Bezug auf die höheren Bestrebungen des Menschen so falsch angewendet worden, als die Worte: nützlich und praktisch. Wir wollen in dieselben alle, auch die höchsten intellectuellen Bedürf-nisse des Menschen einbegreifen; dann muss ich gerade darum, weil die Wissenschaft diesen höchsten Bedürf-nissen des Geistes dient und weil ich sie sowohl als Quelle des Wissens als auch als Mittel der Erziehung für förderlich erachte, hervorheben, wie sehr sie Ihre Aufmerksamkeit in Anspruch nehmen muss.

Indess hat die reine Wissenschaft gewiss auch ein Wort mitzureden, wenn man von materiellen Bedürf-nissen und Freuden spricht. Die Menschen reden oft so, als ob man den Dampf nicht vor James Watt oder die Elektrizität nicht vor Wheatstone und Morse gekannt und untersucht hätte; während in der That Watt, Wheatstone und Morse bei all ihrer praktischen Be-gabung nur die Resultate der vorhergegangenen Forscher verwertheten, die ohne Rücksicht auf eine mögliche prak-tische Verwerthung arbeiteten. Auch dieser Ausspruch verdient noch eine kurze Bemerkung. Sie sind begeistert,

und mit gutem Recht, für Ihre elektrischen Telegraphen, Sie sind stolz auf Ihre Dampfmaschinen und Fabriken und entzückt von den Schöpfungen der Photographie. Sie sehen täglich mit berechtigtem Stolz die Schöpfung neuer Industriezweige — neuer Kräfte, die den Wohlstand und die Behaglichkeit der Menschheit mehren. Das industrielle England arbeitet mit allen Kräften diesem Ziele zu und noch stärker schlägt der Puls der Industrie in den Vereinigten Staaten. Und was, wenn Sie es analysiren, ist das industrielle Amerika und was das industrielle England?

Wenn Sie ein freies Wort von mir ertragen können, will ich Ihnen diese Frage durch ein Bild beantworten. Entblößen Sie einen kräftigen Arm und betrachten Sie die gespannten Muskeln, wenn die Hand geballt und der Arm gekrümmt ist. Sind diese Zeichen von Kraft nur die Leistung der Muskeln? Keineswegs. Der Muskel ist der Träger einer höheren Kraft, ohne die er so machtlos sein würde, wie ein Stück plastischen Thones. Der zarte unsichtbare Nerv ist es, der die Kraft des Muskels auslöst. Und ohne diese feinen Fäden des Genies, die wie Nerven durch den Körper der Menschheit von dem ursprünglichen Entdecker gezogen worden sind, würde das industrielle Amerika und das industrielle England dem plastischen Thon gleichen.

In der jetzigen Zeit geht ein Ruf nach technischer Ausbildung durch England, und es ist ein Ruf, in den der gewöhnlichste Verstand mit einstimmt, so offenkundig ist das Bedürfniss. Aber es ergeht kein Ruf nach schöpferischer Forschung. Und doch, so sicher wie der Strom schwindet, wenn die Quelle versiegt, so wird auch „die technische Erziehung“ ohne diese treibende Kraft alles Wachsthum, alle Befähigung zur Reproduction ver-

lieren. Unsere grossen Forscher haben uns für einige Zeit genügende Arbeit gegeben; wenn aber ihr Geist ausstirbt, so werden wir uns in einer ähnlichen Lage wie die Chinesen befinden, von denen De Tocqueville erzählt, dass, da sie den wissenschaftlichen Urquell ihrer Arbeiten vergessen haben, sie zuletzt genöthigt waren, die Entdeckungen ihrer Vorfahren ohne Veränderung nachzuahmen, die, weiser als sie selbst, ihre Inspirationen direct der Natur entlehnt hatten.

Sowohl England wie auch Amerika haben alle Ursache, diese Thatsachen nicht zu vergessen, denn die Grösse und die Erreichbarkeit der materiellen Erfolge sind zu verlockend, um nicht beide Länder vergessen zu lassen, wie klein die geistigen Anfänge solcher Resultate im Geiste des wissenschaftlichen Forschers sind. Sie vervielfältigen, aber erschafft. Und wenn Sie ihn darben lassen oder sonstwie tödten — ja, wenn Sie nur versäumen, ihm freien Spielraum und Aufmunterung zu geben — dann verlieren Sie nicht nur die bewegende Kraft des geistigen Fortschrittes, sondern unterbinden sich auch sicher die Quellen des industriellen Lebens.

Was ich von den technischen Thätigkeiten gesagt habe, gilt ebenso für die Erziehung, denn auch hier bildet der Forscher den Urquell des Wissens. Dem Lehrer kommt es zu, diesem Wissen die entsprechende Form zu geben; eine ehrenvolle und oft schwere Aufgabe. Doch ist es eine Aufgabe, die ihre Würdigung zuletzt darin findet, wenn der Lehrer selbst mit allen Kräften sucht, ein kleines Bächlein zum grossen Strom der wissenschaftlichen Entdeckungen hinzuzufügen. Man könnte in der That bezweifeln, ob das wahre Leben der Wissenschaft von einem Manne richtig empfunden und Anderen mitgetheilt werden kann, der nicht selbst

durch directen Verkehr mit der Natur unterrichtet worden ist. Wir können unzweifelhaft gute und belehrende Vorlesungen von gewandten Männern hören, die ihr ganzes Wissen erst aus zweiter Hand haben, ebenso gut wie wir gute und belehrende Predigten von geistig tüchtigen, aber nicht schöpferisch thätigen Männern hören können. Aber um zu der eigentlichen überzeugenden Macht der Wissenschaft durchzudringen, welche dem entspricht, was Ihre puritanischen Vorfahren „die experimentelle Religion im Herzen“ nennen würden, müssen Sie bis zum ursprünglichen Forscher hinauf gehen.

Um die Menschheit in wissenschaftlicher Beziehung gesund zu erhalten, bedarf man dreier Classen von Arbeitern: Zuerst den Erforscher der Naturwahrheiten, dessen Beruf es ist, diese Wahrheiten zu verfolgen und das Feld der Entdeckungen um dieser Wahrheiten willen zu vergrössern, ohne Rücksicht auf praktische Zwecke. Zweitens die Lehrer der naturwissenschaftlichen Wahrheiten, die die Aufgabe haben, den durch den eigentlichen Forscher gewonnenen Erkenntnissen eine allgemeinere Verbreitung zu geben. Endlich die Männer, die die Naturwahrheiten anwenden, deren Streben dahin geht, die wissenschaftliche Erkenntniss für die Bedürfnisse, die Bequemlichkeiten und das Behagen des civilisirten Lebens nutzbar zu machen. Alle drei Classen sollten zusammen leben und wirken. Nun beziehen sich aber die allgemein verbreiteten Vorstellungen von der Wissenschaft sowohl hier in diesem Lande, wie in England, nicht auf die eigentliche Wissenschaft, sondern auf ihre Anwendungen. Diese Anwendungen sind, namentlich auf diesem Continent, so erstaunlich, sie treten so grossartig und so anschaulich in die Oeffentlichkeit, dass sie diejenigen Arbeiter dem Blicke entziehen, die sich

Spectrum, sondern ziehen sich in diagonalen Richtung über dasselbe, wobei die Richtung der Diagonale von rechts nach links oder umgekehrt durch die Lage des dickeren Endes des Keiles bestimmt wird. Werden zwei ähnliche Keile mit ihren dicksten Enden zusammengelegt, so wirken sie wie ein Keil, dessen Winkel und Dicke die doppelten des vorherigen sind. Werden sie in umgekehrter Lage aneinandergelegt, so wirken sie wie eine ebene Platte, und die Streifen liegen wieder quer über das Spectrum in geraden, gegen seine Längsrichtung senkrechten Linien.

„Bei Anwendung einer concaven Platte ordnen sich die Streifen in Form eines Fächers; ihre Divergenz hängt von dem Abstand des Spaltes von der Mitte der Höhlung ab.

„Werden zwei Quarzkeile zusammengelegt, und liegt die eine optische Axe des einen parallel der Kante an dem brechenden Winkel, und ist die des anderen darauf senkrecht, aber in der den brechenden Winkel enthaltenen Ebene, so stellen dieselben den sogenannten Babinet'schen Compensator dar. Bei diesem sind die Erscheinungen sehr mannigfaltig.

„Die diagonalen Streifen können sich zuweilen verdoppeln, wie bei den gewöhnlichen Keilen, sie können sich vereinigen und longitudinale (statt transversaler) Streifen bilden, oder auch sich kreuzen und eine Art Muster mit hellen Zwischenräumen in einem dunkeln Netzwerk bilden und umgekehrt, je nach der Lage der Platten.

„Die Wirkung der verschiedenen Stellungen zwischengelegter Krystalle kann beliebig bis ins Unendliche variiert werden; indess das Gesagte dürfte wohl genügen, um die Anwendbarkeit der auf der Spectralanalyse begründeten Methode der Untersuchung des polarisirten Lichtes darzuthun.“

Die merkwürdige und schöne Erscheinung, die man mittelst einer kreisförmigen Gypsplatte hervorruft, die in der Mitte dünn ist und sich allmählich gegen den Rand hin verdickt, kann leicht mit einer ähnlichen Erscheinung bei den Newton'schen Ringen in Beziehung gebracht werden. Es falle ein dünner Lichtstrahl auf die

Mitte der Gläser, die die Ringe zeigen, so dass er auf ihnen eine schmale verticale Zone bedeckt. Das Bild dieser Zone auf dem Schirm wird von den farbigen Ringen durchzogen. Wird der reflectirte Strahl prismatisch analysirt, so kann das resultirende Spectrum als eine Unzahl einzelner, nebeneinander liegender Bilder der Zone angesehen werden. Vor der Dispersion lagen in dem Bilde farbige Ringe, und nirgends war das Licht völlig ausgelöscht. Werden aber die verschiedenen Farben durch Dispersion von einander getrennt, so wird jede Farbe transversal von ihrem eigenen System von dunkeln Interferenzstreifen gekreuzt, die mit zunehmender Brechbarkeit des Lichtes immer enger an einander rücken. Das ganze Spectrum erscheint daher von einem System continuirlich dunkler Streifen durchzogen, die die Farben transversal kreuzen und beim Fortschreiten vom Roth zum Blau sich einander nähern.

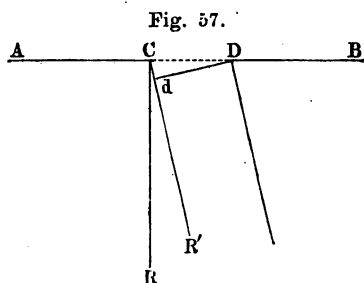
Bei dem Versuch mit dem Gyps wird ein Spalt vor das polarisirende Prisma gebracht und die dünne Gypsplatte dicht vor den Spalt gehalten, so dass das Licht durch die centrale Zone der Platte hindurchgeht. Wie bei den Newton'schen Ringen ist das Bild der Zone von farbigen Streifen durchsetzt; wird es aber durch ein Prisma zerlegt, so giebt das Licht der Zone ein Spectrum, welches von vollkommen dunklen Streifen durchzogen wird, gerade wie bei dem Versuch mit den Newton'schen Ringen und aus einem ähnlichen Grunde. Es ist dies die schöne Erscheinung, welche Herr Spottiswoode als die fächerförmige Anordnung der Streifen beschreibt — der Fächer öffnet sich gegen das rothe Ende des Spectrums hin.

Messungen der Wellenlängen des Lichtes.

Die in Vorlesung II. beschriebenen Diffractionsfransen können, statt auf der Netzhaut, auch auf einem Schirm oder einer mattgeschliffenen Glasplatte entworfen und von hinten durch ein Vergrößerungsglas gesehen werden, oder auch in der Luft beobachtet werden, wenn das mattgeschliffene Glas entfernt wird. Wir wollen annehmen, sie seien, statt auf der Netzhaut, auf einem Schirm entworfen, dann können wir auch ohne Trigonometrie die Lösung der wichtigen Aufgabe verstehen, die Länge einer Lichtwelle zu messen.

Wir wollen die Entfernung des Schirmes von der Lichtquelle so gross annehmen, dass die von den beiden Rändern des Spaltes darauffallenden Strahlen wesentlich einander parallel sind. Wir haben in der zweiten Vorlesung erfahren, dass der erste dunkle Streifen einem Gangunterschied von einer ganzen Wellenlänge für die Randstrahlen entspricht, der zweite dunkle Streifen einem Gangunterschied von zwei, der dritte von drei Wellenlängen u. s. f. Nun kann man den Winkelabstand der Streifen von der Mitte genau messen; derselbe hängt, wie schon erwähnt, von der Breite des Spaltes ab. Mit einem 1.35 Millimeter breitem Spalt fand Schwerd den Winkelabstand des ersten dunklen Streifens von der Mitte gleich $1' 38''$, den des zweiten, dritten, vierten Streifens doppelt, drei- und viermal so gross.

Es sei AB (Fig. 57) die Platte, in welche der stark vergrößert gezeichnete Spalt CD eingeschnitten ist, und



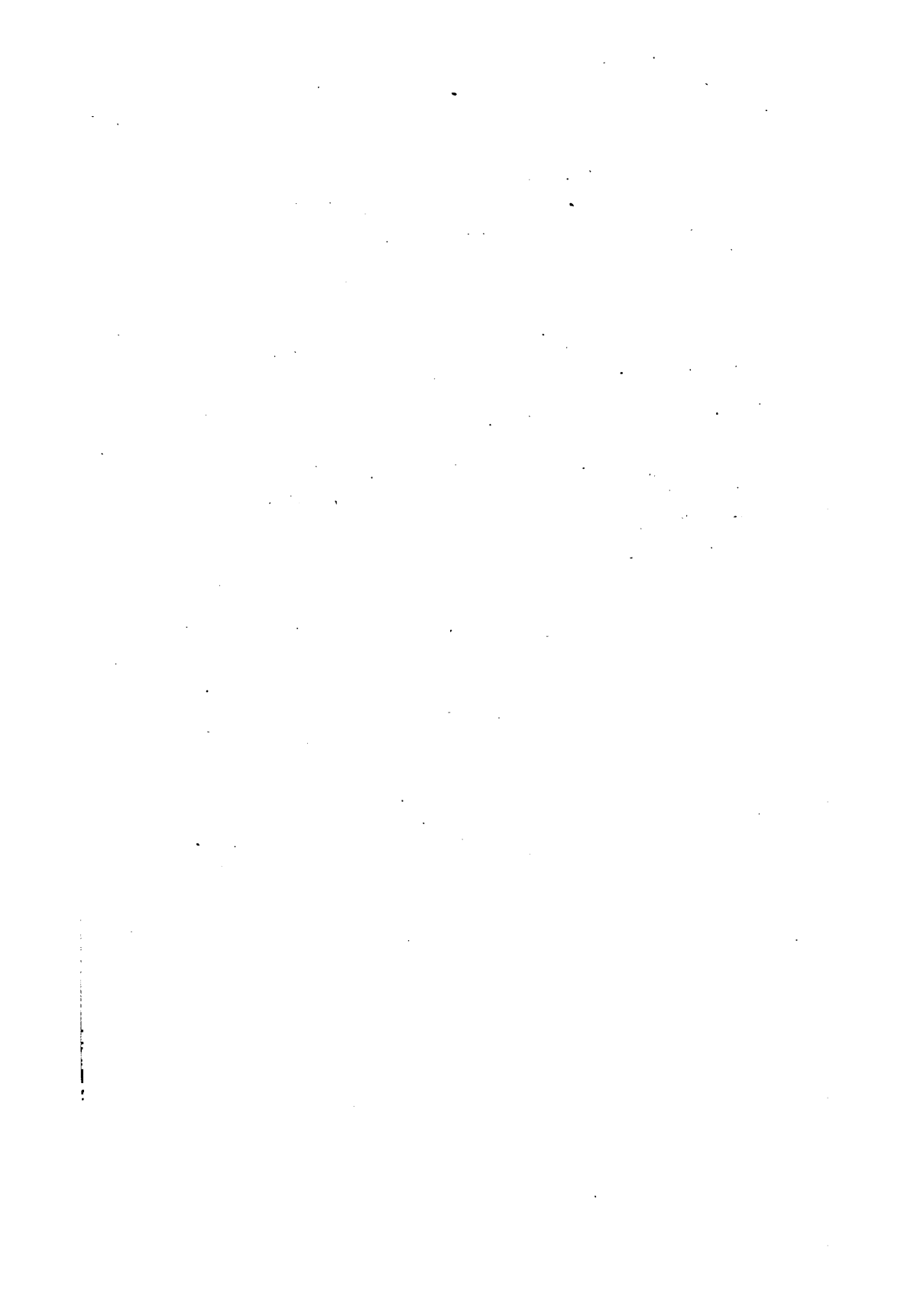
CDR' der rothe Strahl, welcher, schräg von demselben ausgehend, den ersten dunklen Streifen bildet. Wir fällen von dem einen Rande D des Spaltes ein Loth Dd auf den Strahl, der von dem andern Rande des Spaltes kommt. Der Abstand Cd zwischen

dem Fusspunkt des Lothes und dem letztern Rande ist gleich

einer Wellenlänge des Lichtes. Ferner ist in dem vorliegenden Fall der Winkel CDd gleich RCR' gleich $1' 38''$. Von D als Mittelpunkt beschreiben wir mit DC als Radius einen Halbkreis. Ist DC gleich 1·35 Millimeter, so ist die Länge des Halbkreises, wie leicht zu berechnen, gleich 4·248 Millimeter. Die Länge Cd ist so klein, dass sie wesentlich mit einem Bogen dieses Kreises zusammenfällt. Daher verhält sich die Länge des Halbkreises zu der Wellenlänge Cd wie 180° zu $1' 38''$ oder, wenn Alles auf Secunden reducirt wird, wie 648000 zu 98. So haben wir das Verhältniss

$$648000 : 98 = 4\cdot248 \text{ zu der Wellenlänge } Cd.$$

Daraus ergibt sich, wenn wir die Berechnung machen, die Wellenlänge für diese besondere Lichtart gleich 0·000 643 Millimeter oder 0·000 026 Zoll.



SACH- UND NAMENREGISTER.

A.

Absorption, Principien 218.
 Aether, Huygens und Euler vertreten und vertheidigen die Annahme desselben, 55. 66.
 — Newton verwirft ihn, 66.
 Airy, Sir George, Strenge seiner Schlüsse, 230.
 Alhazen, Untersuchung über das Licht, 16. 228.
 Analysator, Polarisator, Wiedervereinigung beider Wellensysteme durch den Analysator, 140.
 Angström, Arbeiten über Spectral-Analyse, 215.
 Arago, Franz und Dr. Young 58.
 — Entdeckungen über das Licht, 230, 232.
 Atome, Polarität derselben, 108 bis 111.
 Ausdehnung durch Kälte, 117.
 Auge, in Jahrhunderten der Vollkommenheit entgegen gereift, 9.
 — unvollkommene Achromasie desselben, 33 Anm.

B.

Bacon, Roger, Untersuchung über das Licht, 15. 16. 228.
 Bartholinus, Erasmus, über Kalkspath, 123.
 Bérard, Polarisation der Wärme, 198.
 Boyle, Robert, Beobachtungen über Farben, 77.
 — Bemerkungen über Fluorescenz, 179.

Bradley, James, Uebereinstimmung der Beobachtungen und Schlüsse Roemer's 24.

— entdeckt die Aberration des Lichtes, 25.

Brechung, Versuch über die des Lichtes, 17.

—, Doppel-, 120. 121.

Brewster, Sir David, Hauptentwurf gegen die Wellentheorie des Lichtes, 54. 55.

— Entdeckung der zweiarigen Krystalle 230.

Brougham, Mr. (später Lord), macht T. Young's Speculationen lächerlich, 58.

C.

Cäsium, Entdeckung durch Bunsen, 211.

Calorescenz, 191.

Crookes, Entdeckung des Thalliums, 211.

Cuvier, über Wissensdrang, 243.

D.

Descartes, Erklärung des Regenbogens, 27. 28.

— seine Gedanken über den Durchgang des Lichtes, 50.

— Ansicht über das Licht, 228.

De Tocqueville, Schriften, 238.

Diamant, Verbrennung im Sauerstoff, 185.

Diathermansie, 190.

Diffraction des Lichtes, Erscheinungen, 88.

— Streifen, 88. 89.

Diffraction des Lichtes, Erklärung der Streifen, 91.
 — Farben, 100.
 Dollond, Versuche über Achromasie, 32.
 Draper, Untersuchungen über Wärme, 188.
 Drummond'sches Licht, Spectrum desselben, 213; 214.
 Dunkelheit, ihre Bedeutung, 36.
 Durchgelassenes Licht, Ursache, 87.
 Durchsichtigkeit, Bemerkungen, 183.

E.

Einbildungskraft, 48.
 — Bemerkung von Maclaurin über diesen Gegenstand, 48. 49 Anm.
 Eislinsen, Verbrennung durch dieselben, 183.
 Elektrizität, Entdeckungen, 241.
 Elektrisches Licht, Wärme, 182.
 Emissions-Theorie des Lichtes, Grundlage, 53.
 — Newton erklärt sich für die Theorie und die Resultate dieser Erklärung, 83.
 Erde, tägliche Bewegung, 84.
 Euler vertritt und vertheidigt die Annahme eines Aethers, 55. 66.
 Eusebia über die Naturforscher seiner Zeit, 15.

F.

Faraday, Michael, Ruhm, 58.
 — Entdeckung der Magneto-electricität 241.
 — Anwendungen, Theorie, 83.
 — Erklärung der Newton'schen Ringe, 83.
 — Widerlegung der Theorie, 86.
 Farben dünner Platten, 76.
 — Boyle's Beobachtungen derselben, 77.
 — Hooke über Farben von dünnen Platten, 79.
 — gestreifter Oberflächen, 103.
 Fizeau, bestimmt die Geschwindigkeit des Lichtes, 25.
 Fluorescenz, Stokes' Entdeckung, 178.

Fluorescenz, der Name, 191.
 Forbes, Professor, polarisirt und depolarisirt Wärme, 198.
 Foucault, bestimmt die Geschwindigkeit des Lichtes, 25.
 — Versuche über die Sonnenchemie, 216. 217. 221.
 Fraunhofer, theoretische Berechnungen über Diffraction, 98.
 — Linien, 212.
 — ihre Erklärung durch Kirchhoff, 213.
 Fresnel und Young, 58.
 — theoretische Berechnungen über Diffraction, 98.
 — mathematische Begabung, 231.
 — sein unsterblicher Name, 232.

G.

Gestreifte Oberflächen, Farben derselben, 100.
 Goethe, über Fluorescenz, 180.
 Gravitation, Ursprung der Vorstellung von der Anziehung, 104.
 — Sicherheit der Theorie, 162.
 Grimaldi, Entdeckung in Bezug auf das Licht, 64.
 — Young's Verallgemeinerungen, 65.
 Gyps, Versuche mit dicken und dünnen Platten, 136.

H.

Hamilton, Sir William von Dublin, Verdienste um die Optik, 230.
 Henry, Professor Joseph, seine Einladung, 3.
 Helmholtz, H. v., Versuch über thierische Electricität, 14.
 — Urtheil über Young, 57.
 — über die unvollkommene Achromasie des Auges, 33 Anm.
 — erklärt die Ursache des Grün bei Farbstoffen, 41.
 Herschel, Sir John, theoretische Berechnungen über Diffraction, 98.
 — beobachtet und beschreibt zuerst die Fluorescenz von schwefelsaurem Chinin, 181.
 — Versuche über die Spectra, 222.
 Herschel, Sir William, Versuche über die Wärme der verschiede-

- nen Farben des Sonnenspectrums, 187.
 Himmelslicht, Farbe und Polarisation, 163. 173.
 — Erzeugung von künstlichen Himmeln, 173.
 Hooke, Robert, über die Farben von dünnen Platten, 76.
 — Bemerkungen über die Ansicht, dass Licht und Wärme Arten von Bewegungen seien, 77. 78.
 Huygens befürwortet den Begriff des Aethers, 55. 66.
 — berühmtes Princip, 93.
 — über die Doppelbrechung des Kalkspaths, 123.
 Huggins, Dr., Arbeiten, 225.

J.

- Janssen, über die rosagefärbten Sonnen-Protuberanzen, 225.
 Infraroth Strahlen des Sonnenspectrums, 187.
 — Wirkungen derselben, 188.
 Jupiter, Roemer's Beobachtungen der Monde, 22.
 — Entfernung von der Sonne, 22.

K.

- Kalkspath, Dichtigkeit, 121.
 — Doppelbrechung, 123.
 — diese Doppelbrechung zuerst von Erasmus Bartholinus beobachtet, 123.
 — Charakter der durch ihn hindurchgegangenen Strahlen, 126.
 — geprüft durch einen Turmalin, 129.
 — Knoblauch's Nachweis seiner Doppelbrechung für Wärme, 203.
 Kepler, Methode, 16.
 — seine berühmten Gesetze, 16.
 — findet nicht das Brechungsgesetz, 16.
 — seine Untersuchungen über das Licht, 228.
 Kirchhoff, Erklärung der Fraunhofer'schen Linien, 213.
 — seine Vorgänger, 222.
 — wissenschaftliche Arbeiten und sein Anrecht auf Unsterblichkeit, 223.

- Knoblauch, Erklärung der Doppelbrechung der Wärme des Kalkspaths, 203.
 Komet von 1680, Newton's Schätzung der Temperatur, 185.
 Krystalle, Wirkung auf das Licht, 108.
 — entstanden durch polare Kräfte, 109.
 — Beispiele von Krystallisation, 111.
 — Bau derselben, betrachtet als Einleitung zu ihrer Wirkung auf das Licht, 108.
 — Wirkung der Krystallisation auf optische Erscheinungen, 117.
 — Ringe um die Axen der Krystalle, 163.
 — einaxige und zweiaxige, 160.

L.

- Lactantius, über die Naturforscher seiner Zeit, 15.
 Lamy, stellt Thallium in Barren dar, 211.
 Lesley, seine Einladung, 3.
 Licht, im Alterthum bekannt, 6.
 — Erzeugung, 7. 8.
 — sphärische Aberration, 9.
 — die geradlinige Fortpflanzung und die Art, sie zu erzeugen, 10.
 — Beweis, dass der Einfallswinkel dem Reflexionswinkel gleich ist, 12.
 — Unfruchtbarkeit des Mittelalters, 15.
 — Geschichte der Brechung, 16.
 — Versuch über die Brechung, 17.
 — partielle und totale Reflexion, 19. 22.
 — Geschwindigkeit, 23.
 — Bradley's Entdeckung der Aberration des Lichtes, 24. 25.
 — Gesetz der geringsten Zeit, 26.
 — Descartes und der Regenbogen, 27.
 — Newton's Analyse, 31.
 — Synthese des weissen Lichtes, 33.
 — complementäre Farben, 35.
 — gelbes und blaues Licht, erzeugt durch Mischung Weiss, 35.
 — Was bedeutet Dunkelheit? 36.
 — Analyse der Wirkung von Farbstoffen, 38.
 — Absorption, 39.

- Licht, Mischung von Farbstoffen im Gegensatz zur Mischung von Spectralfarben, 41.
- Wünsch, über die drei einfachen Farben im weissen Licht, 45 Anm.
 - Newton kommt auf die Emissionstheorie, 51.
 - Young's Entdeckung der Undulationstheorie, 56.
 - Versuche über Wellenbewegung, 59. 66.
 - Interferenz von Schallwellen, 66.
 - Geschwindigkeit, 68.
 - Gesetz der Interferenz von Lichtwellen, 69.
 - Erscheinungen, die zuerst auf die Undulationstheorie führten, 71. 78.
 - Seifenblasen und ihre Farben, 72. 78.
 - Newton's Ringe, 80. 85.
 - Seine Annahme der Emissionstheorie und die Folgen dieser Annahme, 86. 87.
 - durchgelassenes, 87.
 - Diffraction, 88. 100.
 - Ursprung der Idee der Anziehung der Schwerkraft, 102.
 - Polarität, Erzeugung, 103.
 - Wirkung von Krystallen auf das Licht, 106.
 - Refraction, 118.
 - Elasticität und Dichtigkeit, 120.
 - Doppelbrechung, 120.
 - Farbenercheinungen durch Krystalle hervorgerufen in polarisirtem Licht, 133.
 - das Nicol'sche Prisma, 134.
 - Mechanismus des Lichtes, 137.
 - Schwingungen, 138.
 - Zusammensetzung und Zerlegung der Schwingungen, 138.
 - Polarisator und Analysator, 140.
 - die beiden Wellensysteme, durch den Analysator wieder vereint, 142.
 - Interferenz hierbei, 144.
 - Farbenercheinungen im Quarz, 152. 153.
 - Magnetisirung des Lichtes, 155.
 - Ringe, die die Axe der Krystalle umgeben, 156.
 - Farbe und Polarisation des Himmels, 163. 172.
- Licht, Grenzen des Sehens, nicht entsprechend denen der Strahlung, 173.
- Wirkung der Substanz Thallen auf das Spectrum, 177.
 - Fluorescenz, 178.
 - Durchsichtigkeit, 183.
 - die infrarothern Strahlen, 188.
 - Rolle, die diese Strahlen in der Natur spielen, 191.
 - Umwandlung der Wärmestrahlen in Lichtstrahlen, 191.
 - Identität der strahlenden Wärme und des Lichtes, 195.
 - Polarisation der Wärme, 198.
 - Gesetze der Spectralanalyse, 207.
 - Spectra von weissglühenden Dämpfen, 209.
 - Fraunhofer's Linien und Kirchhoff's Erklärung derselben, 213.
 - Sonnenchemie, 214. 216.
 - Nachweis der Analogie zwischen Schall und Licht, 219.
 - Kirchhoff und seine Vorgänger, 222.
 - rosafarbene Protuberanzen, 234.
 - Resultate von verschiedenen Forschern, 224.
 - Schluss, 226.
 - polarisirten, das Spectra des, 248.
- Lignum Nephriticum, Fluorescenz, 179.
- Lloyd, über Polarisation der Wärme, 198. 231.
- Lockyer, über die rosagefärbten Sonnenprotuberanzen, 224.
- Lycopodium, Diffractionswirkungen, erzeugt durch seine Sporen, 99.
- M.**
- Magnetisirung des Lichtes, 155.
- Malus, Entdeckung bei dem reflectirten Licht durch Doppelspath, 126.
- entdeckt die Polarisation des Lichtes durch Reflexion, 230.
- Masson, Abhandlung über die Streifen des Inductionsfunkens, 222.
- Melloni, über Polarisation der Wärme, 198.

- Metalle, Verbrennung, 6.
 — Spectralanalyse, 209.
 — Spectralstreifen, als charakteristisch für den Dampf der, bewiesen von Bunsen und Kirchhoff, 211.
 Mill, John Stuart, Zweifel in Betreff der Undulationstheorie, 163.
 Miller, Zeichnungen und Beschreibungen der Spectra von verschieden gefärbten Flammen, 221.
 Morton, Entdeckung des Thallens, 178. 179.

N.

- Natur, Auslegung durch einen Wilden, 4.
 Newton, Sir Isaac, Versuche über die Zusammensetzung des Sonnenlichtes, 30.
 — Spectrum, 31.
 — Dispersion, 32.
 — kommt auf die Emissionstheorie des Lichtes, 51.
 — Einwurf gegen die Annahme eines Aethers, den Huygens und Euler annehmen und vertheidigen, 55. 66.
 — optische Laufbahn, 79.
 — Ringe, 80.
 — nimmt die Emissionstheorie an, 87.
 — Folgen der Annahme, 87.
 — Ringe durch die Theorie der „Anwendungen“ erklärt, 82.
 — Ansicht über die Schwerkraft, 102.
 — Irrthümer, 229.
 Nicol'sches Prisma, 134.

O.

- Ocean, Farbe, 40.
 Oersted entdeckt die Ablenkung der Magnethadel durch den elektrischen Strom, 193.
 Optik, Wissenschaft, 4.

P.

- Pasteur, angeführt, 242.
 Perlmutter, Farben derselben, 100.
 Physikalische Theorien, Ursprung derselben, 47.

- Pigmente, Analyse ihrer Wirkung auf das Licht, 38.
 — Mischung im Gegensatz zur Mischung von Licht, 43.
 — Helmholtz erklärt das Grün bei der Mischung von blauen und gelben Pigmenten, 41. 42.
 — Unreinheit natürlicher Farben, 42.
 Plücker, Zeichnungen der Spectra, 222.
 Polarisation des Lichtes, 126.
 — circulare, 153.
 — des Himmelslichtes, 163. 172.
 — durch künstliche Himmel, 173.
 — der strahlenden Wärme, 198.
 Polarisator und Analysator, 143.
 Pole eines Magneten, 103.
 Polariskop, gepresstes Glas in demselben, 148.
 — ungekühltes Glas in demselben, 149.
 Polarität, wie sie erzeugt wird, 103.
 — der Atome, 105.
 — Einfluss auf die Structur, 108.
 — Polarisation des Lichtes, 124.
 — geprüft durch den Turmalin, 125.
 Polarität, geprüft durch Reflexion und Brechung, 126.
 — Depolarisation, 132.
 — Farbenerscheinungen durch Kristalle im polarisirten Licht erzeugt, 133.
 Powell, Polarisation der Wärme, 198.
 Prisma, das Nicol'sche, 134.

Q.

- Quarz, Farbenerscheinungen, 152. 153.

R.

- Reflexion, partielle und totale, 19. 22.
 Regenbogen, Descartes' Erklärung desselben, 28.
 Respighi, Resultate, 225.
 Ritter, Entdeckung der ultravioletten Strahlen der Sonne, 175.
 Roemer, Olav, Beobachtungen über die Monde des Jupiter, 22.

- Roemer, Bestimmung der Geschwindigkeit des Lichtes, 23.
 Rosskastanienrinde, Fluoreszenz, 180.
 Rosten des Eisens, Ursache, 6.
 Rubidium, Entdeckung durch Bunsen, 211.
- S.
- Schall, Ansichten der Alten, 59.
 — Interferenz der Wellen, 67.
 — Höhe, 68.
 — Analogien des Lichtes und des Schalles, 64. 65.
 — Erklärung der Analogie zwischen Schall und Licht, 219.
 Schwefelsaures Chinin, zuerst beobachtet und beschrieben von Sir John Herschel, 181.
 Schwerd, Beobachtungen über die Diffraction, 98.
 Scoresby, lässt Schiesspulver durch Sonnenstrahlen, die durch grosse Eislin sen gesammelt worden sind, explodiren, 183.
 Secchi, Resultate, erhalten von ihm, 225.
 Seebeck, Thomas, entdeckt die Thermoelektricität, 193.
 — entdeckt die Polarisation des Lichtes durch Turmalin, 230.
 Seifenblasen und ihre Farben, 72. 78.
 Silberspectrum, Analyse, 209.
 Snell, Willebrod, Entdeckung, 16.
 — Gesetz, 27.
 Sonne, Chemie, 214. 216.
 — rosagefärbte Sonnenprotuberanzen, 224.
 Spectralanalyse, Gesetze, 207.
 — Spectra von weissglühenden Dämpfen, 209.
 — unterbrochene, 210.
 — von polarisirtem Licht, 124.
 Spectralstreifen, charakterisiren die Dämpfe nach Bunsen und Kirchhoff, 211.
 — Entdeckungen dadurch, 211.
 — Analyse der Sonne und Sterne, 212.
 Spottiswoode, William, 136.
 Stewart, Balfour, Untersuchungen über Spectralanalyse, 222.
- Stokes, Sir George, Vorschlag für künstliche Himmel, 172.
 — Resultate seiner Untersuchung von Substanzen, die durch die ultravioletten Wellen erregt worden sind, 176.
 — Entdeckung der Fluoreszenz, 178.
 — kommt fast der Entdeckung Kirchhoff's zuvor, 222.
 — Ueber Fluoreszenz, 192.
 Strahlende Wärme, 190.
 — Diathermansie oder Durchlässigkeit für strahlende Wärme, 190.
 — Umwandlung der Wärmestrahlen in Lichtstrahlen, 191.
 — Bildung der unsichtbaren Wärmebilder, 197.
 — Polarisation derselben, 198.
 — doppelte Brechung, 200.
 — Magnetisirung derselben, 203.
- T.
- Talbot, Versuche, 221.
 Thallen, (Kohlenwasserstoff), 177.
 — Wirkung auf das Spectrum, 177.
 Thallium, Spectralanalyse desselben, 208.
 — Entdeckung, 211.
 — isolirt in Ballen durch Lamy, 211.
 Theorie, Verhältniss zum Versuch, 102.
 Thermoelektricität, Entdeckung, 193.
 Thermoelektrische Säule, 193.
 Tombeline, Mont, umgekehrtes Bild, 22.
 Tonhöhe, 68.
 Tonschwingungen, 67.
 Turmalin, Polarisation des Lichtes, 125.
- U.
- Ultraviolette Sonnenstrahlen, 175.
 — entdeckt von Ritter, 175.
 — Wirkungen, 175.
 Undulationstheorie des Lichtes, Grundlagen, 54.
 — Sir David Brewster's Hauptentwurf, 54. 55.

- Undulationstheorie des Lichtes,
Young's Begründung, 57.
— Erscheinungen, die zuerst auf
sie führten, 74, 81.
— skeptische Ansicht Mr. Mill's,
163.
— Verdienste von Young, 231.

V.

- Vassenius beschreibt die rosa-
gefärbten Sonnenprotuberanzen im
Jahre 1733, 224.
Versuche, Nutzen derselben, 3. 4.
Vitellio, Geschicklichkeit und Ge-
wissenhaftigkeit, 16.
— Untersuchungen des Lichtes 228.
Volta'sche Batterie, Nutzen der-
selben und ihre Erzeugung von
Wärme, 7.

W.

- Wärme, Erzeugung, 7.
— Draper's Untersuchungen, 189.
Wasser, Krystallisation, 113.
— sein Verhalten, betrachtet und
erklärt, 116. 117.
Wasserschnellen, Ungestüm des
Niagara, 62. 63.
— Erklärung des Gesetzes der In-
terferenz der Wellen, 63.
Wasserwellen, 59.
— Länge einer Welle, 60.
— Interferenz von Wellen, 61.
Weinsäure, unregelmässige Kry-
stallisation und ihre Wirkungen
144.
Wertheim, Instrument zur Be-
stimmung von Zug und Druck

- durch die Farben von polarisirtem
Licht, 147.
Wheatstone, Sir Charles, Analyse
des Lichtes des elektrischen Fun-
kens, 221.
Willigen, van der, Spectralzeich-
nungen, 222.
Wissenschaft, Entwicklung der-
selben, 193, 223.
Wolken, actinische, 168.
— Polarisation derselben, 170.
Wollaston, 212.
— entdeckt die Ringe des Doppel-
spaths, 230.
Woodbury, über die Unreinheit
der natürlichen Farben, 42.
Wünsch, Christian Ernst, über
die drei einfachen Farben im
weissen Licht, 45 Anm.
— Versuche, 45.

Y.

- Young, Thomas, Entdeckung der
ägyptischen Hieroglyphen, 53, und
der Undulationstheorie des Lich-
tes, 57.
— Helmholtz' Urtheil über ihn,
57.
— durch Brougham in der „Edin-
burgh Review“ lächerlich ge-
macht, 58.
— verallgemeinert Grimaldi's
Beobachtungen über das Licht,
65.
— photographirt die ultravioletten
Ringe von Newton, 176.
— Resultate in der Sonnenchemie,
225.

